



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
TECHNOLOGY

POROVNÁNÍ VÝKONNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ V PODMÍNKÁCH ČR

COMPARISON OF DIFFERENT PHOTOVOLTAIC PANELS IN CR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL ČERVINKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID PLÉHA

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav elektrotechnologie

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektrotechnická výroba a management

Student: Bc. Pavel Červinka

ID: 78213

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Porovnání výkonnosti fotovoltaických panelů v podmínkách ČR

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Porovnejte a vyhodnoťte produkci elektrické energie z různých typů fotovoltaických elektráren provozovaných v Solárním inkubátoru Hády společnosti Energ servis.

Pro konkrétní vybrané lokality vyhodnoťte vhodnost umístění FV elektrárny dle lokálních podmínek.

Praktické vyhodnocení dejte do souvislosti s teoretickým modelem zastínění, který bude vypočítávat ztráty instalace.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. David Pléha

prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt:

Tato semestrální práce se zabývá historií, principem a využitím fotovoltaických panelů. Popisuje jejich strukturu a stále se zlepšující vlastnosti těchto panelů. Nastiňuje jejich postupný generační vývoj od jejich začátků až po současnost. Dále se rozepisuje o různých systémech zapojení on – grid a off – grid. Popisuje a porovnává fotovoltaické panely a střídače od různých světových výrobců, na závěr práce pojednává o podmínkách fotovoltaiky v České republice a o fotovoltaickém inkubátoru Hady firmy Energ servis a.s.. Uvádí porovnání různých lokalit a rozbor vlivu zastínění na výkon fotovoltaického panelu. Vytváří matematické modely pro výpočet rozestupu řad a výpočet poklesu výkonu při určitém zastínění.

Abstract:

This term paper deals about history, principle and use of photovoltaic panel. It describes their structure and constantly improving properties of these panels. It outlines their gradual generational evolution from beginning to present. Then it describes the various systems involved on – grid and off – grid. It also describes and compares the photovoltaic panels and inverters from different global manufacturer. The end of this work deals about conditions of photovoltaic in the Czech republic and about Hady photovoltaic incubator, which belongs to the company Energ servis a.s. It presents a comparison of different local and the analysis of the impact of shading for the achievement of the photovoltaic panel. It makes mathematic models for calculation of the spacing range and calculation the power loss in a specific shade.

Klíčová slova:

Fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, fotovoltaika, systém off – grid, systém on – grid, fotovoltaický jev, fotovoltaika v ČR, panely Solon, panely NexPower, panely Yohkon, panely Phono Solar, panely Solpower, panely Canadian, střídače Delta, střídače Solon, střídače Refusol, střídače SolarMax, střídače Danfoss, vliv zastínění.

Keywords:

Photovoltaic cell, photovoltaic panel, photovoltaics, system off - grid, the system on - grid, the photovoltaic effect, photovoltaic in the Czech republic, panels Solon, panels NexPower, panels Yohkon, panels Phono Solar, panels Solpower, panels Canadian, inverters Delta, inverters Solon, inverters Refusol, invertas SolPower, invertas Danfoss, shading influence.

Bibliografická citace díla:

ČERVINKA, P. *Porovnání výkonnosti fotovoltaických panelů v podmínkách ČR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Pléha.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 20. 5. 2011

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Pléhovi za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na diplomovou práci. Dále děkuji firmě Energ Servis a.s., za poskytnutí prostoru k realizaci experimentálních prací a pracovníkovi této firmy Ing. Petru Špičákovi za poskytnutí metodické pomoci a odborné rady.

Obsah

Obsah	8
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Historie a princip fotovoltaických panelů	12
2.1 Historie fotovoltaických panelů	12
2.2 Princip činnosti	13
2.3 Generační vývoj	14
2.3.1 První generace	14
2.3.2 Druhá generace	15
2.3.3 Třetí generace	16
2.4 Struktura složení panelu	16
3 Přehled systémů	17
3.1 Systém off - grid	17
3.2 Systém on – grid	19
4 Fotovoltaika v ČR	20
5 Typy fotovoltaických panelů	22
5.1 Panely SOLON	22
5.2 Panely NexPower	23
5.3 Panely Phono Solar	24
5.4 Panely Yohkon	24
5.5 Panely Solpower	24
5.6 Panely Canadian Solar - CSI	25
5.7 Porovnání panelů	25
6 Střídače	27
6.1 Střídače Delta	27
6.2 Střídače Refusol	28
6.3 Střídače SOLON	29
6.4 Střídače SolarMax	30
6.5 Střídače Danfoss	30
6.6 Porovnání střídačů	31
7 Fotovoltaický inkubátor Hády	32
7.1 Naměřená data I. etapy	34

7.1.1	Naměřená měsíční data elektrické energie	40
7.2	Porovnání naměřených dat s teoretickými daty	43
8	Porovnání lokalit v ČR	45
9	Vliv zastínění	48
10	Modelování podmínek zastínění FVE	51
10.1	Model výpočtu rozestupu řad	51
10.2	Model pro výpočet zastínění	52
11	Závěr	57
12	Použitá literatura	59
13	Přílohy	61
13.1	Hodnoty 7/2009	61
13.2	Hodnoty 11/2009	64

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Struktura fotodiody [6]	14
Obrázek 2 - Přímé a difuzní záření [4]	15
Obrázek 3 - Složení panelu.....	17
Obrázek 4 - Systém s přímým napájením [8]	18
Obrázek 5 - Systém s akumulátory [8]	18
Obrázek 6 - Hybridní systém [8]	19
Obrázek 7 - Systém s prodejem přebytků energie [8]	20
Obrázek 8 - Systém s prodejem energie [8]	20
Obrázek 9 - Průměrný roční úhrn trvání slunečního svitu pro Českou republiku v hodinách, úhrn záření v MJ/m ² a v kWh/m ² [7]	21
Obrázek 10 - Počet udělených licencí FVelektráren a instalovaný výkon od roku 2002 [3]	22
Obrázek 11 - Naměřená data 2. pol. 2010 v grafu	36
Obrázek 12 - Přepočet elektrické energie na jeden panel za 2. pol. 2010.....	36
Obrázek 13 - Přepočet el. energie na 1 kWp instalovaného výkonu za 2. pol. 2010 v grafu	38
Obrázek 14 - Přepočet el. energie za 2. pol. 2010 na plochu 1 m ² instalované plochy v grafu	39
Obrázek 15 - Denní výkon za dva měsíce.....	40
Obrázek 16 - Měsíční součet el. energie na jednotlivých instalacích.....	41
Obrázek 17 - Denní přepočet el. energie na 1 kWp.....	41
Obrázek 18 - Měsíční součet el. energie na jednotlivých instalacích.....	42
Obrázek 19 - Denní přepočet el. energie na 1 m ²	42
Obrázek 20 – Měsíční součet el. energie na jednotlivých instalacích na 1 m ²	43
Obrázek 21 - Mapa porovnávaných lokalit (1 - Hrušovany nad Jevišovkou, 2 - Moravské Budějovice, 3 - Protivín, 4 - Prostějov, 5 - Brno, 6 - Žďár nad Sázavou	46
Obrázek 22 – Znázornění zastiňování panelu a) nezastíněný panel b) zastíněný jeden článek c) zastíněná řada d) zastíněné dva sloupce e)zastíněný celý panel	49
Obrázek 23 - Schéma zapojení panelu	50
Obrázek 24 – Výsledný grafický model	52
Obrázek 25 - Vypočtené hodnoty pohybu Slunce v grafu.....	53
Obrázek 26 - Graf závislosti intenzity záření na čase pro červen.....	55
Obrázek 27 - Integrání funkce závislosti intenzity na čase pro červen	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled použitých panelů (část 1).....	26
Tabulka 2 - Přehled použitých panelů (část 2).....	26
Tabulka 3 - Přehled střídačů (poznámka: uvedené hodnoty v závorce, jsou u novějšího typu. * jedná se o nový typ, náhrada za starší Refusol 15K).....	31
Tabulka 4 - Přehled první etapy	33
Tabulka 5 - Přehled instalací první etapy po úpravě.....	33
Tabulka 6 - Přehled instalací druhé etapy	34
Tabulka 7 - Naměřená data výroby elektrické energie za 2. pol. 2010.....	35
Tabulka 8 - Přepočet el. energie na 1 kWp instalovaného výkonu za 2. pol. 2010	38
Tabulka 9 - Přepočet el. energie za 2. pol. 2010 na plochu 1 m ² instalované plochy	39
Tabulka 10 – Srovnávací tabulka naměřených a teoretických hodnot.....	44
Tabulka 11- Srovnávací tabulka naměřených a teoretických hodnot v %	45
Tabulka 12 - Přehled zvolených lokalit a základní informace.....	46
Tabulka 13 - Naměřená data za rok 2010 [kWh].....	47
Tabulka 14 - Naměřené a vypočtené hodnoty vlivu zastínění (instalace E3)	49
Tabulka 15 - Naměřené a vypočtené hodnoty vlivu zastínění (instalace B)	51
Tabulka 16 - Počet hodin zastínění	54
Tabulka 17 - Intenzita dopadajícího záření na plochu jednoho panel (1,64m ²)	54
Tabulka 18 – Přehled a výpočet ztrát při zastínění	56
Tabulka 19 – Přehled ztráty pro různé úhly, hodnoty jsou za celý rok na jeden panel	57
Tabulka 20 - Přepočet el. energie 7/2009 na 1 kWp.....	61
Tabulka 21 - Přehled el. energie za 7/2009.....	62
Tabulka 22 - Přepočet el. energie 7/2009 na plochu	63
Tabulka 23 - Přepočet el. energie 11/2009 na 1 kWp	64
Tabulka 24 - Přehled el. energie za 11/2009	65
Tabulka 25 – Přepočet el. energie za 11/2009 na plochu.....	66

1 Úvod

Sluneční energie získaná pomocí fotovoltaických panelů je v současné době jeden z nejekologičtějších způsobů získávání elektřiny. Jedná se o získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Mezi obnovitelné zdroje energie se řadí získávání energie ze slunce (fotovoltaické elektrárny), vody (vodní elektrárny) a větru (větrné elektrárny). Jedná se defakto o nevyčerpatelné, obnovitelné a ekologické zdroje energie. Získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů je v dnešní době rychle se rozvíjející a velmi zajímavá oblast. V dnešní době je v této oblasti velký rozmach ve výstavbě malých i velkých fotovoltaických elektráren, zapříčiněný hlavně podporou státu a Evropskou unií, různými dotacemi a zajímavými výkupními cenami této „zelené“ elektrické energie.

Práce pojednává o různých typech fotovoltaických panelů, střídačů, jejich podmínkách v České republice a o fotovoltaickém inkubátoru Hády firmy Energ Servis a.s.. Dále se zabývá vlivem různého zastínění na výkonnost fotovoltaických panelů a objasňuje vnitřní zapojení panelů. Také porovnává různé lokality v naší republice, různé ovlivňující faktory jako je nadmořská výška, jižnější či severnější poloha. Součástí této diplomové práce jsou vytvořené výpočetní modely, první je pro výpočet rozestupu jednotlivých řad a druhý model pro výpočet zastínění.

2 Historie a princip fotovoltaických panelů

Fotovoltaika vznikla spojením dvou slov, řeckého phos – světlo a ze jména italského fyzika Alessandra Volty. Jedná se o ekologické získávání elektrické energie ze slunečního svitu. Celkově dopadá na povrch Země sluneční energie $1,5 \times 10^{18}$ kWh za rok, přitom odhadovaná roční spotřeba lidstva je 101,2 MWh. Z tohoto vyplývá, že současná spotřeba je 15 000 krát menší než nabídnutá sluneční energie.

2.1 Historie fotovoltaických panelů

Fotovoltaický jev v roce 1839 objevil francouzský fyzik Alexandr Edmont Besquerel. Besquerelův princip byl založen na kovových elektrodách ponořených v elektrolytu. V roce 1877 vznikl v rukou Adamse a Daymiho první pevný článek ze selenu. Další článek byl sestaven v roce 1883 Charlesem Frittem. Tento fotovoltaický článek měl účinnost jen 1 %.

Dalším pokrokem v této oblasti znamenalo objasnění fotovoltického jevu Albertem Einsteinem, který za toto objasnění dostal roku 1921 Nobelovu cenu. První patentovaná konstrukce vznikla v roce 1946 v rukou Russela Ohla. Od této doby prošly fotovoltické panely velkou obměnou, do přibližné současné podoby se dostaly pomocí Bellovy laboratoře v roce 1954, kdy byla při experimentech objevena vysoká citlivost osvětlení v dopovaném křemíku. Tento objev zapříčinil zvýšení účinnosti o 5%, tedy na 6%.

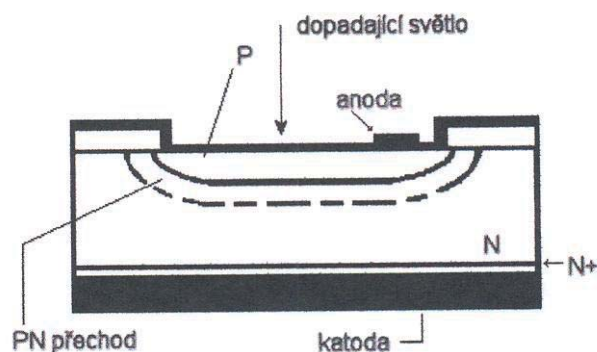
Velké prvotní využití fotovoltických panelů, co by zdroje elektrické energie bylo v kosmonautice. 15. května roku 1957 byla vyslána na oběžnou dráhu první družice napájená solárními články, jednalo se o družici nesoucí název Sputnik 3. V sedmdesátých letech 20. století nastala ropná krize, která zapříčinila rychlejší rozvoj zdrojů elektrické energie, tím i rozvojem fotovoltických článků.

V dnešní době je podporována dotacemi výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů, což napomáhá k masovému rozmachu této technologie a výstavbě větších či menších fotovoltických elektráren.

2.2 Princip činnosti

Obecně fotovoltický článek je velkoplošná polovodičová součástka (fotodiody), která má schopnost pomocí fotovoltického jevu přeměňovat světlo na elektrickou energii. Fotovoltický jev spočívá v uvolňování elektronů z látky v důsledku absorbování elektromagnetického záření (světla). Uvolňované elektrony jsou nazývány fotoelektrony.

Nejspolehlivější fotodiody jsou křemíkové. Struktura fotodiody je patrná z obrázku 1. Citlivou vrstvu tvoří vrstva P, na které se pomocí dopadajících fotonů uvolní elektrony. Vznikne pár elektron – díra. Elektrony přechází do vrstvy N a díry přechází do vrstvy P. Na PN přechodu vzniká rozdíl potenciálu, to znamená vznik napětí. Dále u tohoto přechodu jsou elektrody, horní elektroda je anoda tvořena mřížkou, aby mohly fotony proniknout k polovodiči, tedy k vrstvě P. Ze spodní strany je umístěna záporná elektroda, tedy katoda v podobě plného kovu.



Obrázek 1 - Struktura fotodiody [6]

2.3 Generační vývoj

Od začátku většího rozmachu fotovoltaických článků se postupně zvětšovala jejich účinnost, hlavně na optimalizaci polohy PN přechodu, změnou a vývojem konstrukce a technologie. V současné době rozlišujeme tři generace článků, které si popíšeme v následujících podkapitolách.

2.3.1 První generace

První generace využívá nejrozšířenější technologii v současné době, tvoří ji až 90% trhu. Tato generace je založena na principu křemíkové desky. Jejich výroba je hodně náročná z důvodu potřeby krystalického křemíku a také je energeticky náročná. Od těchto důvodů se také odvíjí vysoká pořizovací cena. Tyto problémy při výrobě, jsou kompenzovány dobrou účinností, běžné panely této generace dosahují účinnosti 16 až 19% a speciální struktury až 24%. Dalšími výhodami je jejich dlouhodobá stabilita výkonu.

Hlavním představitelem této generace jsou monokrystalické panely. Tento představitel první generace má povrchovou úpravu černou a dosahuje životnosti 30 let a výkony 170 – 290 W. Další výhodou je nízké snižování výkonu, po 10 letech provozu dosahuje 90% výkonu po výrobě a po 25 letech ještě dosahuje 80% původního výkonu. Tento systém je vhodný pro použití polohovacích zařízení, které natačejí panely podle osvětlení, tzv. trackerů.

Druhým představitelem této generace jsou polykrystalické panely. Tento typ je nejvhodnější pro využití na ploché či šikmé střechy. Jejich účinnost je oproti monokrystalickým panelům nepatrně nižší, dosahuje hodnoty do 260 W. Jejich povrchová úprava je modrá. Tento systém dokáže přeměňovat i difuzní záření. Jedná se o nepřímé záření,

kteřé vzniká důsledkem rozptylu paprsků v atmosféře. Názorně to ukazuje následující obrázek 2. Výkon difúzního záření může tvořit na fotovoltaickém panelu až 20% jeho výkonu. Také tato difuzní složka záření nám umožňuje vidět oblohu jako modrou, kdyby toto záření neexistovalo, byla by obloha během dne černá s ostrým slunečním kotoučem.



Obrázek 2 - Přímé a difuzní záření [4]

Na tomto obrázku je silnými šipkami znázorněno přímé záření a tenkými šipkami nepřímé záření nazývané jako difuzní záření.

2.3.2 Druhá generace

Druhá generace se objevila v polovině 80. let minulého století. Snaží se odstranit hlavní nevýhody první generace, tedy snížení potřeby krystalického křemíku při výrobě. Takže se odlišují 100x až 1000x tenčí křemíkovou vrstvou. Jejich výroba spočívá také záměnou použitého materiálu, u této generace se využívá například amorfni, multikrystalický křemík, a pak různé směsné polovodiče z prvků jako je Cu, In, Ga, S, Se označované jako CIS struktury.

Výhodou je snížení ceny výroby, tedy i snížením koncové prodejní ceny panelů. Ale nevýhodou této technologie je snížení jejich účinnosti, většinou se pohybuje pod 10%.

Fotovoltaické články z multikrystalického křemíku jsou i přes nízkou účinnost rozšířeným typem. Jejich výroba spočívá v odlévání čistého křemíku do forem, to umožňuje čtvercového nebo obdélníkového průřezu což vede k optimálnímu využití ploch a lze vyrábět

touto metodou větší rozměry jednotlivých článků. Multikrystalické panely mají zajímavý povrchový vzhled, vypadají jako struktura leštěného kamene, navíc lze tyto panely vyrábět v různých barvách. Tohoto efektu se využívá při tvorbě fotovoltaických fasád, obřích log firem atd.

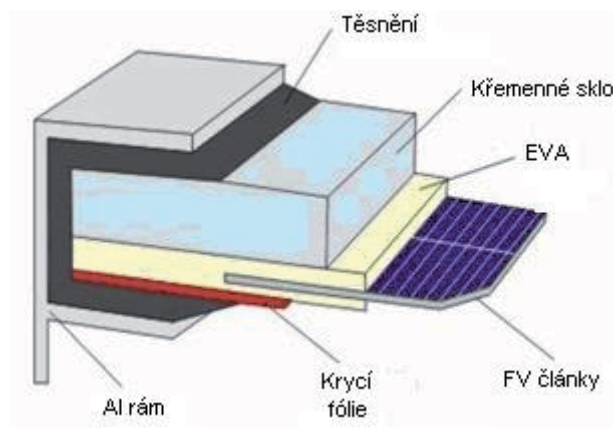
Druhým představitelem druhé generace jsou fotovoltaické články z amorfního křemíku. Spočívají na velmi tenké vrstvě křemíku tzv. thin filmu, naneseném na podložce z plastu nebo skla. Tato struktura není pravidelná, což snižuje účinnost na hodnotu okolo 7 %. Výhodou tenké vrstvy je, že lze vyrobit pružný článek, který lze využít jako krycí fólie a její montáž nepotřebuje tak hmotnostně náročné požadavky jako ostatní systémy.

2.3.3 Třetí generace

U této generace je hlavním cílem nahradit nákladné křemíkové materiály za jiné. Využívají se například hydrogenový křemík, amorfni křemík a monokrystalický křemík, který lze nahradit slitinou křemíku a germania. Další snahou o vylepšení panelů je zvětšení počtu absorbovaných fotonů, tím pádem větší počet párů elektron – díra a to vede k většímu výkonu celého panelu. Nejvyužívanější změnou v této generaci je dvojvrstvé nebo třívrstvé struktury. Každá z těchto sub - vrstev je tvořena jiným polovodičem a je určena jen pro určitou část světelného spektra, což vede k lepšímu využití dopadajících fotonů. Na vrchní vrstvě je polovodič, který je určen pro pohlcování fotonů s větší energií. Následující vnitřní vrstvy jsou postupně určeny pro fotony s nižší energií. Takto vzniklá struktura má při nižším proudu podstatně vyšší napětí. Udávané účinnosti třívrstvých panelů se nacházejí okolo 10 % u šestivrstvých dokonce 60 %.

2.4 Struktura složení panelu

Jednotlivé panely jsou složeny sériovým a paralelním spojením jednotlivých fotovoltaických článků. Panel musí být hermeticky uzavřen. Jeho „obal“ musí splňovat dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost, aby nedocházelo k poškození panelu při dešti, krupobití, mrazu atd. Základní konstrukce je tvořena hliníkovým rámem, který hlavně slouží ke zpevnění celého panelu a možnosti jeho bezpečného uchycení na nosné profily. Jednotlivé vrstvy jsou zobrazené na obrázku 3.



Obrázek 3 - Složení panelu

Z pohledu ochrany jsou nejdůležitější vrstvy, které se nacházejí nad samotnými fotovoltaickými články. Tvoří jí kalené sklo, teflon nebo litá pryskyřice, tato vrstva musí odolávat i krupobití. Druhou vrstvou tvoří EVA fólie. Tato fólie je organický materiál, který ale má nevýhodu, že při silném UV záření žloutne a dochází ke snížení propustnosti světelného záření a to vede k mírnému snížení výkonu panelu. Pod touto fólií se nacházejí samotné fotovoltaické články. Ze spodní strany článků je opět EVA fólie a krycí fólie. Celé je to utěsněno v již zmíněném hliníkovém rámu.

Tato popsaná konstrukce je pro křemíkové panely. Složení tenkovrstvých panelů je odlišné od křemíkových. Je to dáno zejména odlišným způsobem výroby, kdy celá vrstva je deponována plazmaticky v jednotlivých krocích na skleněný velkoplošný substrát.

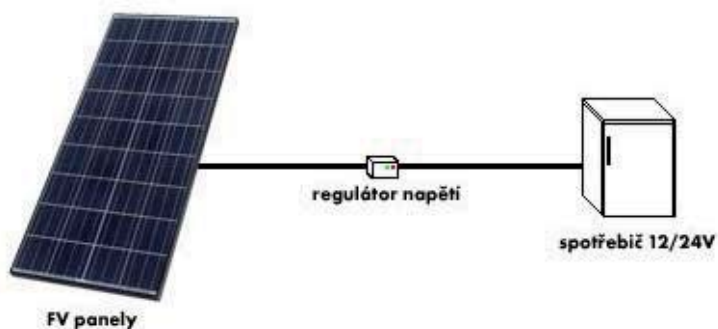
3 Přehled systémů

Základní systém tvoří drobné aplikace, jedná se o články používané v kalkulačkách nebo solárních nabíječkách akumulátorů. Dalšími a v oblasti fotovoltaických elektráren využívané jsou systémy off – grid a on – grid. V následujících kapitolkách jsou tyto systémy podrobněji rozebrány.

3.1 Systém off - grid

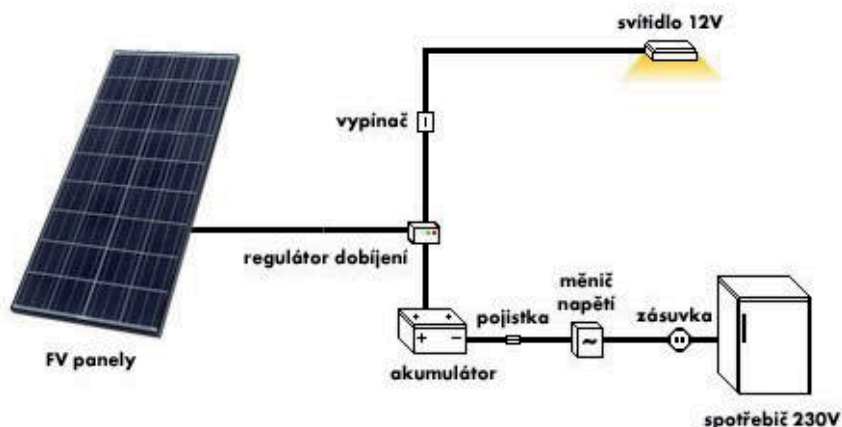
Tento systém se používá tam, kde není k dispozici elektrická síť 230 V. Jedná se většinou o ostrovní systémy, kde není možné vybudování elektrické přípojky, jako jsou horské chaty, různé samoty, jachty, karavany, telekomunikační zařízení atd. Výstavba fotovoltaického systému se ekonomicky vyplatí při vzdálenosti 500 m od rozvodné sítě. Tato skupina se dále dělí, na systém s přímým napájením, systém s akumulací elektrické energie a na systémy hybridní.

Systém s přímým napájením je takový, kde je spotřebič připojen přímo na fotovoltaický panel či panely. Zapojení se nachází na obrázku 4. Výhodou tohoto systému je jeho jednoduchost a nízké pořizovací náklady. Jeho nevýhody spočívají v tom, že lze tento systém použít jen v době dostatečné intenzity slunečního záření. Lze ho použít u zařízení, u kterých nevádí možný výpadek při nedostatečném slunečním záření. Použití tedy nachází u čerpání vody v závlahovém systému, napájení ventilátorů odvětrání, atd.



Obrázek 4 - Systém s přímým napájením [8]

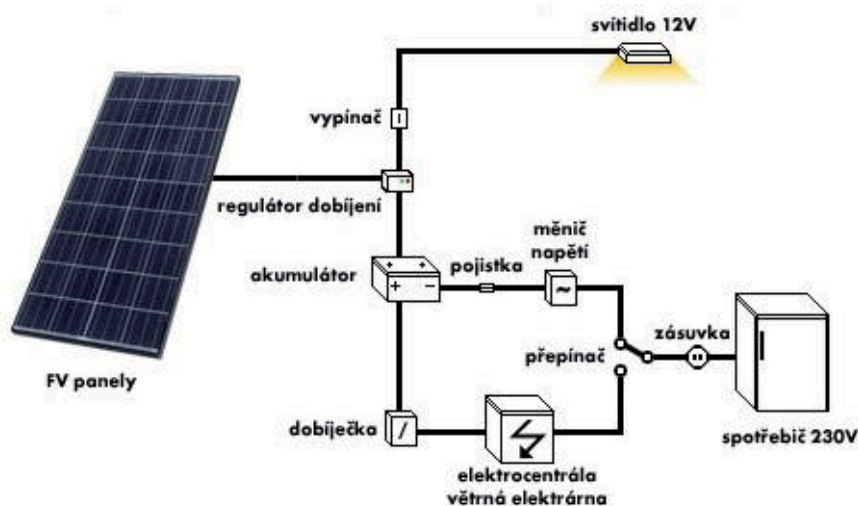
Off - grid systém s akumulátory odstraňuje nedostatek předchozího systému (obrázek 5). Tedy nehrozí takové výpadky dodávání elektrické energie. Systém obsahuje v zapojení solární baterie, které akumulují elektrickou energii na dobu, kdy není dostatek slunečního svitu. Optimalizaci nabíjení a vybíjení baterie zajišťuje elektronický regulátor. Výhodné je používat tento systém při napájení nízkým stejnosměrným napětím 12 V, případně běžné spotřebiče připojené přes napěťový měnič.



Obrázek 5 - Systém s akumulátory [8]

Posledním typem je hybridní off - grid systém. Zapojení se nachází na obrázku 6. Je vhodný pro celoroční provoz se značným vytížením. V zimním období se získává méně energie než v letním období. Tento fakt se musí při návrhu tohoto systému brát v úvahu a

navrhovat systém tak aby splňoval napájecí požadavky v zimních měsících. To vede k nárůstu instalovaného výkonu, finanční náročnosti a v letním období k přebytku elektrické energie. Druhou variantou je doplněním fotovoltaického systému o alternativní zdroj energie, jako například o malou vodní elektrárnu, větrnou elektrárnu, elektrocentrálu atd.

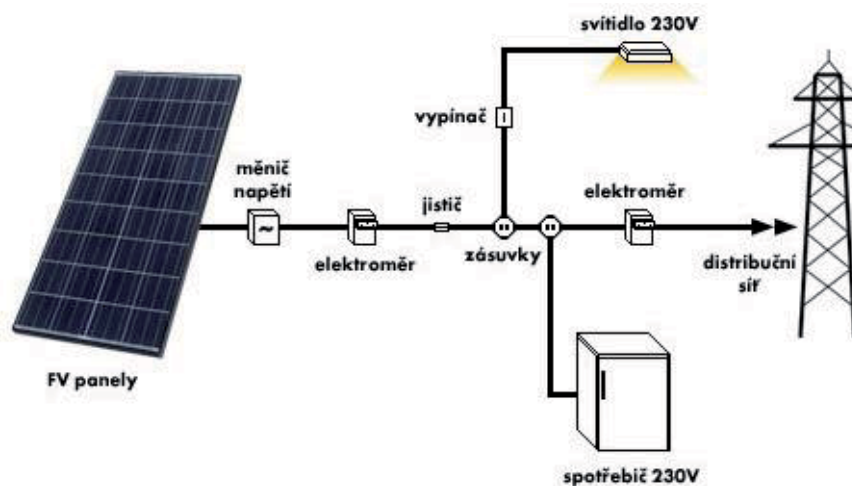


Obrázek 6 - Hybridní systém [8]

3.2 Systém on – grid

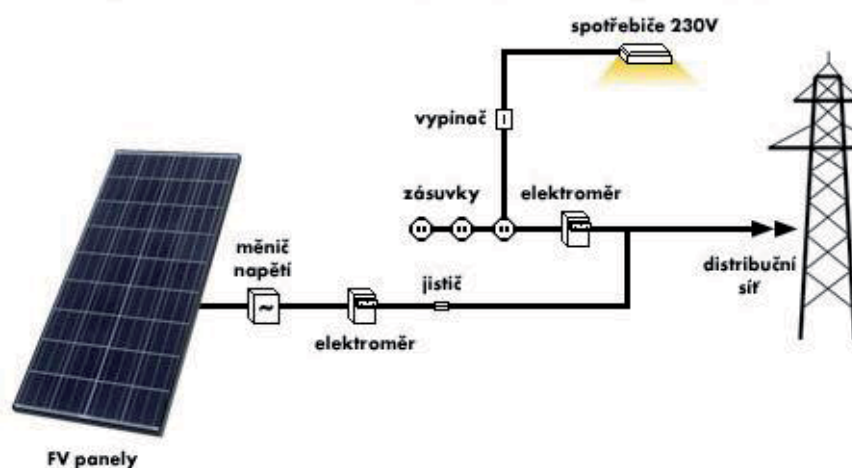
Tento systém se nachází v oblastech s rozvinutou rozvodnou sítí. V případě dobrého slunečního svitu se elektrická energie spotřebovává například přímo v budově či areálu, přičemž při přebytku je tato energie dodávána za výkupní cenu do distribuční sítě. Naopak při nedostatku elektrické energie je čerpána z veřejné rozvodové sítě.

Prvním systémem v této skupině je systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků. Systém v této konfiguraci je zobrazen na obrázku 7 a obsahuje fotovoltaické panely, napěťový měnič pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý. Systém obsahuje elektroměr, který provádí odpočet dodané elektrické energie z panelů. Tato větev je dále opatřena jističem a přepětíovou ochranou. Fotovoltaický systém je připojen na hlavní (vstupní) elektroměr. Je tedy možné vyrobenou elektrickou energii přímo spotřebovávat nebo při přebytku dodávat do distribuční sítě, nebo naopak při nedostatku získávat elektrickou energii z distribuční sítě.



Obrázek 7 - Systém s prodejem přebytků energie [8]

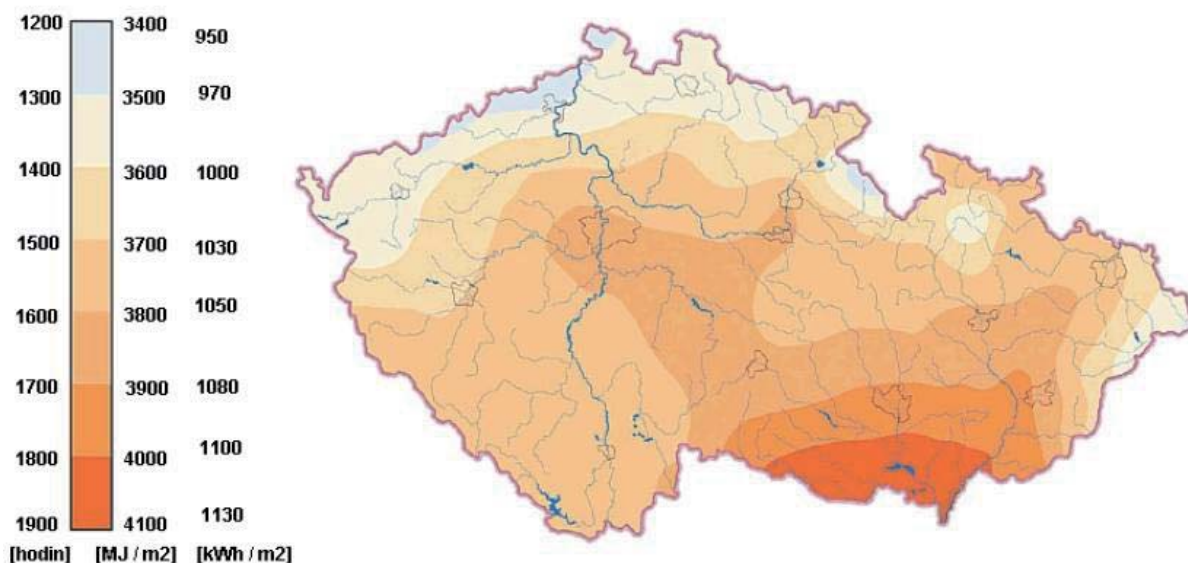
Druhým systémem ve skupině on – grid je systém pro výhradní prodej veškeré elektrické energie do distribuční sítě (obrázek 8). Panely jsou připojené přes měnič napětí na odpočtový elektroměr a přes jistič a přepěťovou ochranu je to připojené do distribuční sítě.



Obrázek 8 - Systém s prodejem energie [8]

4 Fotovoltaika v ČR

V České republice je dostupnost fotovoltaické energie ovlivněna několika faktory. Mezi nejdůležitější ovlivňující faktory patří roční doba, zeměpisná šířka, oblačnost, a spoustu dalších vlivů. V České republice jsou rozdíly i mezi jednotlivými regiony. Na našem území je průměrný úhrn slunečního svitu v rozmezí 1200 až 1900 hodin, což je v přepočtu na 1 m² 1000 - 1100 kWh energie. Na obrázku 9 se nachází mapa České republiky s naznačeným ročním úhrnem slunečního svitu na celém území v hodinách, úhrn záření v MJ/m² a v kWh/m².

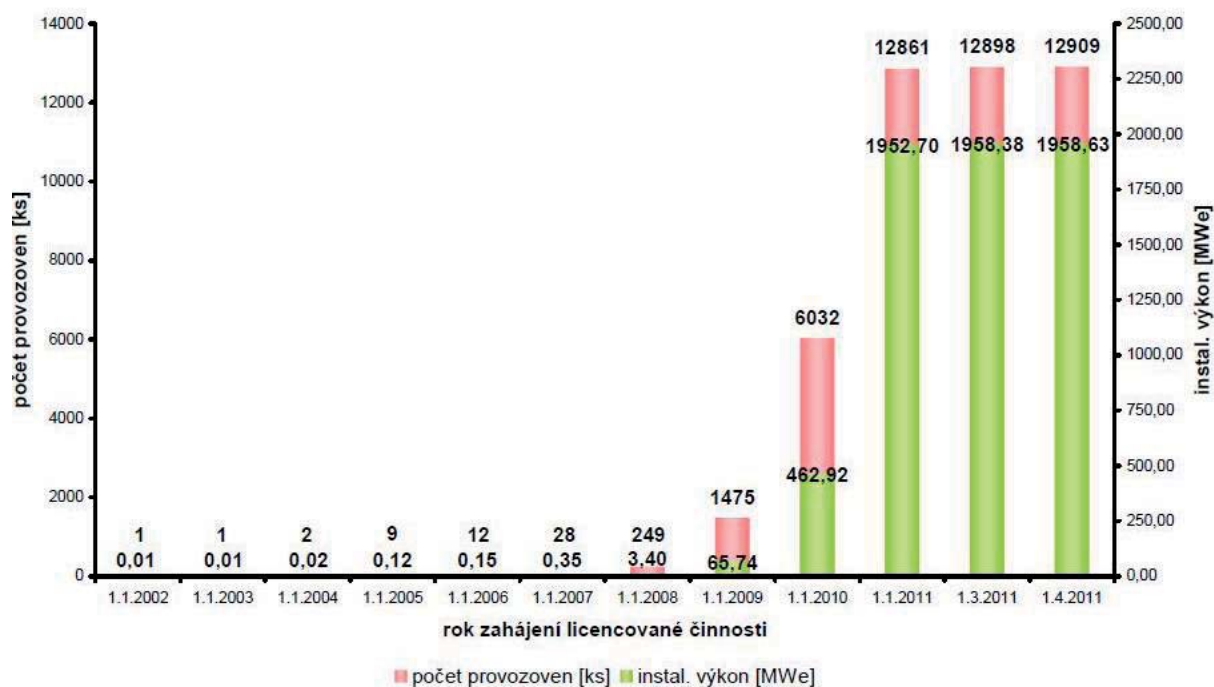


Obrázek 9 - Průměrný roční úhrn trvání slunečního svitu pro Českou republiku v hodinách, úhrn záření v MJ/m² a v kWh/m² [7]

Z obrázku je vidět, že největší průměrný výkon slunečního záření je na Jižní Moravě a naopak nejnižší na severozápadě našeho území. Proto také nejvíce fotovoltaických elektráren se staví na jihu Moravy a ve středních Čechách.

V poslední době dochází k velkému rozmachu výstavby fotovoltaických elektráren, je to způsobeno stále se snižující cenou jednotlivých panelů, poskytováním různých dotací od státu, Evropské unie a také garantovanou výkupní cenou takto získané elektrické energie. Tento rozvoj je patrný z obrázku 10, kde je vidět, že během roku 2008 došlo k velkému skoku. V roce 2009 byla k 1. září překonána hranice 100 MW a to na výkon 102,71 MW. Podle Energetického regulačního úřadu [3] k 1. prosinci 2010 bylo vydáno 12109 licencí na provozování fotovoltaické elektrárny a jejich celkový výkon stoupl téměř na 1394 MW.

Jak je patrné z grafu, tak se boom fotovoltaických elektráren na začátku roku 2011 téměř zastavil, je to z důvodu legislativy, která v současné době nedovoluje výstavbu fotovoltaických elektráren na volných plochách, tedy pouze na střechách budov.



Obrázek 10 - Počet udělených licencí FVElektráren a instalovaný výkon od roku 2002 [3]

5 Typy fotovoltaických panelů

V této kapitole budou podrobněji popsány a porovnány jednotlivé panely od výrobců Solon, NexPower, Phono Solar, Yohkon, Canadian a Solpower. Firma Solon je jeden z největších výrobců fotovoltaických panelů, byla založena v roce 1997 v Německu a do podvědomí vešla o rok později, tedy v roce 1998. Firma NexPower je průkopníkem v oblasti křemíkového průmyslu od roku 2005 v Taiwanu. Dále se bude práce zabývat panely od firmy Phono Solar, tato firma pochází z Číny a na trhu se prosadila v roce 2004. Firma Yohkon pochází ze Španělska. Další společností, která se zabývá výrobou je CanadianSolar, byla založena roku 2001 v Ontariu v Kanadě a v dnešní době dodává své panely 24 zemím po celém světě.

5.1 Panely SOLON

První typovou řadou, kterou se bude tato kapitola zabývat je Solon Blue 220/03, jedná se o panely polykrystalického typu s udávanou účinností v rozmezí 12,2 až 13,7 %. Panel obsahuje 60 článků o velikosti 156 x 156 mm, celková velikost panelu je 1640 x 1000 x 42 mm, minimální výkonová tolerance dosahuje hodnot v rozmezí 200 - 225 Wp. Svorkové napětí 35,60 – 36,60 V, zkratový proud 7,90 A až 8,40 A.

Další řadou panelů od tohoto výrobce je Solon Blue 230/07, má stejnou velikost a rozložení článků jako předchozí panel. Oproti předchozímu typu dosahuje větší účinnosti až 15,24 %, s minimální výkonovou tolerancí v rozmezí 214 Wp až 250 Wp, podle standardu STC (standard test conditions) [14]. Dosahují jmenovitého napětí v rozmezí 29,00 - 30,30 V jmenovitý proud 7,38 až 8,28 A, svorkové napětí 36,13 V až 37,38 V a zkratového proudu 7,86 A až 8,71 A. Naopak hodnoty podle standardu NOCT (normal operating test conditions) dosahují hodnot výkonu 156 – 182 Wp, jmenovité napětí 26,39 V až 27,57 V, jmenovitý proud 5,90 – 6,60 A. Hodnota svorkového napětí dosahuje hodnot 32,99 – 34,13 V a ztrátový proud 6,38 A až 7,07 A [14].

Dalším typem panelu je Solon Black 230/07, jedná se o monokrystalický panel vyráběný ve více výkonnostních verzích. Podle standardu STC výkonnost dosahuje hodnot v rozmezí 225 až 250 Wp odstupňovány po 5 Wp. Účinnosti dosahuje hodnot v rozmezí 13,72 až 15,24 % podle této výkonnostní verze. Jmenovité napětí dosahuje 29,00 až 30,03 V [14], jmenovitý proud v rozmezí 7,76 až 8,34 A, ztrátový proud 8,29 - 8,74 A a svorkové napětí 35,96 až 37,27 V. Velikost panelu je 1640 x 1000 x 42 mm a váží 23,5 kg. Podle standardu NOCT dosahuje jmenovitý výkon hodnot 161 až 179 Wp, Jmenovité napětí 25,99 až 26,92 V, jmenovitý proud 6,21 až 6,66 A. Svorkové napětí 32,50 až 33,69 V a zkratový proud dosahuje hodnot 6,69 až 7,06 A, všechny udávané hodnoty se odvíjí podle výkonnostních verzích.

Posledním popisovaným typem od tohoto výrobce jsou monokrystalické panely Solon Black 300/10. Tato řada dosahuje výkonu 275 Wp až 295 Wp na přání až 300 Wp. Vyšší výkon panelů je také použitou metodou kontaktování panelů, jedná se o technologii nazývanou back-contact, když jsou oba kontakty ze spodní strany panelu a tím roste účinná plocha a tím i daný výkon. Hodnoty napětí se nachází v rozmezí 63,30 až 63,80 V, hodnota proudu 5,90 až 6,10 A. Velikost panelu 1580 x 1070 x 42 mm a váha 23,5 kg. Celý panel dosahuje účinnosti v rozmezí 16,27 – 17,40 %.

5.2 Panely NexPower

Od tohoto výrobce budou popsány dva druhy panelů, s označením NH-100AT_4A a s označením NH-100AT_3A. Oba mají stejné rozměry 1414 x 1114 x 35 mm [16]. První typ dosahuje výkonu 100 W, svorkové napětí 37,5 V, maximální proud 2,66 A. Oproti tomu druhý typ dosahuje nominálního výkonu 95 W, napětí 36,5 V a maximální proud 2,6 A. Dále tento výrobce nabízí panely s označením NT-125AX a NT-130AX. Tyto panely dosahují

výkonu 125 resp. 130 Wp. Maximálního proudu 2,12 A a 2,2 A, u obou je maximální napětí 59 V.

5.3 Panely Phono Solar

Jedná se o firmu založenou v roce 2004 v Číně. Tento výrobce má ve svém sortimentu jak polykrystalické tak monokrystalické panely v nejrozličnějších výkonových řadách. Mezi polykrystalické patří řada PSxxP-12D, kde xx je hodnota výkonu který se pohybuje v rozmezí 75-90 Wp v rozestupech po 5 Wp [15]. Dále řada PSxxxP-24/F, kde opět xxx je hodnota výkonu ve stejných rozestupech v rozmezí 160 – 190 Wp a konečně poslední řada PSxxxP-20/U ve výkonovém rozmezí 210 – 240 Wp. Jedná se o polykrystalický model, který disponuje výkonem 220 W s tolerancí 3 %. Velikost panelu je 1640 x 992 x 45 mm a váží 22 kg. Svorkové napětí dosahuje hodnoty 36,9 V a proud 8,10 A [15].

Tento výrobce dále nabízí monokrystalické panely ve stejných výkonových řadách jako předchozí polykrystalické, jediná změna v označení je, že za číselným označením místo P obsahuje M, tedy PSxxxM-12D, PSxxxM-24F a PSxxxM-20/U.

5.4 Panely Yohkon

Španělský výrobce se soustředí hlavně na výrobu monokrystalických a polykrystalických panelů. Monokrystalické panely nesou označení YE6220P a vyrábí se v několika výkonových řadách od 210 do 230 Wp odstupňovány po 5 Wp [17]. Rozměry panelu je 1668 x 998 x 33 mm. Jejich svorkové napětí se pohybuje podle výkonové řady v rozmezí 35,94 – 36,60 V. Maximální proud 7,60 – 8,17 A a jejich účinnost se pohybuje v rozmezí mezi 12,60 a 13,80 %.

Polykrystalické panely od stejného výrobce nese označení YE6180M a dosahují rozměrů 1580 x 808 x 33 mm. Opět jsou nabízeny v několika výkonových řadách odstupňovaných po 5 Wp, v rozmezí 165 až 180 Wp. Svorkové napětí dosahuje opět podle výkonové řady hodnoty v rozmezí 43,06 – 43,99 V, proudu dosahují rozmezí 5,20 – 5,33 A a účinnost 12,90 – 14,10 % [17].

5.5 Panely Solpower

Od tohoto výrobce se jedná o monokrystalické panely s označením GM572-xxx [13], kde xxx je výkonová řada 170, 175 anebo 180 Wp. Panel je o velikosti 1580 x 808 x 45

mm a hmotnosti 15,5 kg. Opět napětí a proudy se liší podle výkonu a maximální napětí dosahuje hodnot 40,0 – 44,4 V. Proudové hodnoty se nachází v rozmezí 5,15 – 5,35 A.

5.6 Panely Canadian Solar - CSI

Výrobce těchto panelů nabízí ve svém výrobním programu jak monokrystalické tak polykrystalické panely. Z polykrystalických panelů mají více výkonnostních typů, méně výkonné nesoucí označení CS6A o výkonu 160 až 185 Wp odstupňovaný po 5 Wp. Obsahuje 48 článků [12], celý panel má velikost 1324 x 982 x 40 mm a váží 16 kg. Maximální napětí dosahuje hodnot v rozmezí 28,9 – 29,4 V a proud 7,67 až 8,39 A.

Polykrystalické panely vyrábí ve stejných řadách jako monokrystalické, tedy 160 až 185 Wp. Velikost a váha je stejná, jako u předchozího typu, polykrystalické panely mají nepatrně vyšší napětí, pohybuje se v rozmezí 29,2 až 29,7 V a hodnoty proudu 7,56 až 8,26 A.

Další výkonnostní řada má označení CS6P s výkonem od 220 do 240 Wp odstupňovaný opět po 5 Wp. Maximální napětí dosahuje hodnot 36,6 až 37,2 V a proud 8,09 až 8,87 A. Velikost těchto panelů je větší, 1638 x 982 x 40 mm a obsahuje 60 článků. Váha panelu vzrostla o 4 kg, tedy na hodnotu 20 kg [12].

Polykrystalická varianta této výkonnostní řady je opět s hodnotami stejná jako monokrystalické [12]. Liší se pouze v hodnotách napětí a proudu. Hodnoty napětí jsou v rozmezí 36,9 – 37,5 V a proud v mezích 7,97 – 8,74 A.

5.7 Porovnání panelů

V následujících tabulkách (Tabulka 1 a Tabulka 2) jsou uvedeny všechny použité panely v inkubátoru Hády nezávisle na jednotlivých etapách. Největší teoretické účinnosti dosahuje panel typu Solon Black 300/10. Z tabulek je patrné, že čím větší výkon panelu, tím jsou vyšší veškeré hodnoty, jak napětí, tak proudu. Váhově jsou panely poměrně stejné, výrazněji se pouze liší Yohkon YE6180M o výkonu 180 Wp, který váží 17 kg, ostatní panely se ohýbají od 20 do 23,5 kg. Panely o výkonu přibližně v rozmezí 205 až 230 Wp obsahují 60 článků. Naopak panel Yohkon YE6180M obsahuje 72 článků a Solon Black 300/10 obsahuje 96 článků. V tabulce jsou také uvedeny typy jednotlivých panelů, zda se jedná o polykrystalický či monokrystalický typ. Panel od výrobce NexPower typu NH-100AT_3A jedná se o tenkovrstvé panely, tzv. thin film panely.

Výrobce a typ	SOLON Blue 220/03	SOLON Blue 220/03	Phonosolar PS220P-20/U	Yohkon YE6220P	SOLON Blue 230/07	SOLON Black 230/07
Výkon [Wp]	205 ± 3 %	210 ± 3 %	220 ± 3 %	220 ± 3 %	230 ± 3 %	230 ± 3 %
Svorkové napětí [V]	35,90	36,10	36,90	36,06	36,70	36,22
Maximální proud [A]	8,00	8,10	8,10	7,95	8,65	8,38
Účinnost [%]	12,50	12,80	12,90	13,20	14,02	14,02
Typ (M/P)	poly Si	poly Si	poly Si	poly Si	poly Si	mono Si
Počet článků (ks)	60	60	60	60	60	60
Hmotnost (kg)	23,5	23,5	22,0	21,0	23,5	23,5
Rozměry (mm)	1640x1000x42	1640x1000x42	1640x992x45	1668x998x45	1640x1000x42	1640x1000x42

Tabulka 1 - Přehled použitých panelů (část 1)

Výrobce a typ	NexPower NH-100AT_3A	Yohkon YE6180M	SOLON Black 300/10
Výkon [Wp]	95 ± 5 %	180 ± 3 %	295 ± 3 %
Svorkové napětí [V]	36,50	43,99	63,80
Maximální proud [A]	2,60	5,33	6,10
Účinnost [%]	12,50	14,10	17,40
Typ (M/P)	thin film	mono Si	mono Si
Počet článků (ks)	-	72	96
Hmotnost (kg)	20,5	17,0	23,5
Rozměry (mm)	1414x1114x35	1580x808x45	1580x1070x42

Tabulka 2 - Přehled použitých panelů (část 2)

6 Střídače

Střídače jsou elektronické zařízení, které slouží ke změně napětí. Toto zařízení může u střídavého napětí měnit frekvenci a amplitudu, u stejnosměrného napětí měnit amplitudu. Také střídače umí měnit střídavé napětí na stejnosměrné a naopak. U fotovoltaických panelů se používají střídače, které mění stejnosměrné napětí získané z fotovoltaických panelů na střídavé o hodnotě síťového napětí, které lze poté dodávat do elektrické sítě, nebo napájet spotřebiče.

6.1 Střídače Delta

V první části bude popsán střídač s označením SI 2500 od výrobce Delta. Tento střídač dosahuje účinnosti až 95,6 %, rozsah vstupních napětí v rozmezí 125 až 540 V, jmenovitý proud 8,6 A a maximální proud 18,3 A. Maximální doporučený připojený fotovoltaický výkon 3,1 kW. Naopak výstup dosahuje jmenovitý výkon 2,5 kW, jmenovitý proud 10,9 A. Výstupní rozsah napětí 196 až 253 V a síťová frekvence 50 Hz [19]. Dále obsahuje displej, na kterém lze zobrazit stavová hlášení a uložená data, také umožňuje možnost napojení střídače pomocí rozhraní RS485 na počítač, kde lze snadno a pohodlně zobrazovat získávaná data o stavu fotovoltaických panelů, které jsou připojeny na tento střídač. Velikost tohoto střídače je 443 x 335 x 150 mm.

Podle nového označení tento střídač nese označení Solivia 2.5, jedná se o předchozí střídač s mírně upravenými parametry, liší se ve vstupních parametrech ve jmenovitém proudu, který narostl na 10 A, maximální na 18 A. Hodnoty výstupu se změnili v rozsahu napětí 184 až 264 V, jmenovitý proud 11 A a maximální proud 13 A a rozměry 410 x 410 x 180 mm.

Druhým popisovaným střídačem bude s nesoucím označením SI 3300 [19] dosahuje účinnosti 96 %. Hodnota vstupního napětí je 125 až 540 V, maximální proud 24 A. Výstupní hodnoty napětí 196 až 253 V o síťové frekvenci a proudu 17 A. Maximální možný připojený vstupní výkon dosahuje hodnoty 4 kW. Podle nového označení Solivia 3.3, jedná se opět po upravený střídač SI 3300, liší se v rozsahu výstupního napětí 184 až 264 V, výstupní jmenovitý proud 14,4 A, a vstupní nominální proud 13,3 A, rozměry se změnili na 410 x 410 x 180 mm.

Třetím typem od stejného výrobce je střídač s označením SI 5000, dosahuje stejných hodnot jako předchozí typ, jediný rozdíl je v možném připojeném výkonu fotovoltaických

panelů a to na hodnotu 6 kW [19]. Střídač je o něco větší a dosahuje rozměrů 510 x 410 x 180 mm. Náhrada tohoto střídače nese označení Solivia 5.0. Hodnota vstupního výkonu 6 kW, vstupní rozsah napětí 125 – 540 V, jmenovitý proud 17,2 A a maximální 32 A. Výstupní výkon 5 kW, výstupní rozsah napětí 184 až 264 V, jmenovitý proud 22 A, maximální proud 27,2 A, rozměry 510 x 410 x 180 mm.

Nový střídač nese označení Solivia 3.0 [19], výkonnostně se řadí mezi typ 2.5 a 3.3. Maximální možný připojený výkon 3,7 kW, rozsah vstupních napětí stejný jako u všech předchozích typů, Jmenovitý proud 12 A, maximální proud 21,7 A. Výstupní výkon 3 kW, jmenovitý proud 13 A, maximální 16 A. Výstupní napětí, frekvence a rozměry opět totožné s předchozími střídači.

Dalším novým typem je Solivia 15 TL, maximální možný připojený výkon na vstupu 19 kW, rozsah vstupního napětí 200 až 1000 V, maximální proud 46 A. Výstupná hodnoty výkonu 16 kW, výstupní jmenovitý proud 22 A, maximální 25 A, výstupní napětí 3 x 400 V. rozměr střídače jsou 952 x 625 x 278 mm [19].

6.2 Střídače Refusol

Prvním popisovaným typem tohoto výrobce je s označením 10K, dosahuje účinnosti 97,4 %, maximální vstupní výkon 11,7 kW rozsah napětí 380 – 800 V [18] a maximální proud 29 A. Na výstupní straně dosahuje výstupního napětí 400 V 50 – 60 Hz a maximální výstupní proud 18 A. Výstupní výkon tento typ dosahuje 11 kW. Rozměry jsou 520 x 530 x 270. Od druhé poloviny roku 2010 provedl výrobce drobné úpravy, zvýšil maximální vstupní stejnosměrné napětí na 1000V, maximální připojený fotovoltaický výkon byl snížen na 11 kW, rozsah napětí 380 až 850 V. Výstupní výkon byl snížen na 10 kW a rozměr střídačů vzrostl na 535 x 601 x 277 mm.

Druhý typ nese označení 12 K s účinností 97,5 %. Vstupní rozsah napětí 410 až 800 V, maximální vstupní proud 30 A [18]. Vstupní možný připojený výkon fotovoltaických panelů může mít hodnotu 13,8 kW a výstupní výkon dosahuje střídač 12 kW. Opět jako předchozí typ výstupní hodnoty 400 V o frekvencích v rozmezí 50 – 60 Hz a maximálním proudem 29 A. Rozměry a hmotnost je stejná jako v předchozím typu.

Dalším typem je Refusol 15K, maximální připojené napětí může být 36 A, rozsah napětí 460 až 800 V. Největší hodnota připojeného výkonu může být 17,5 kW, naopak maximální výstupní výkon je 16,5 kW. Tyto střídače dosahují účinnosti 97,7 %. Maximální výstupní

hodnota proudu 25 A, a napětí hodnoty 400 V o frekvenci 50 - 60 Hz. Rozměry a hmotnost je totožný jako předchozí dva typy střídačů od tohoto výrobce.

Řada Refusol 15K byla druhé polovině roku 2010 inovována řadou 13K a 17K a doplněna řadou 20K. Refusol 13K, má udávaný maximální připojený fotovoltaický výkon 13,6 kW, rozsah napětí na vstupu, tedy stejnosměrné části je stejná jako předchozí nový typ, teda rozsah 420 až 850 V, maximální napětí 1000V. Stejnosměrný proud 30 A. Výstupní, střídavá strana střídače dosahuje výkonu 12,4 kW, maximální proud 18 A a celá účinnost 97,5 %.

Další nový typ je Refusol 17K o parametrech na vstupní straně, maximální výkon 18,1 kW, rozsah napětí 445 – 850 V, maximální proud 38,5 A. Parametry na výstupní straně jsou následující, maximální výkon 16,5 kW, maximální proud 29 A, účinnost 97,8 %.

Poslední novinka v sortimentu je Refusol 20K o maximálním vstupním výkonu 21,2 kW, proudu 41 A, napětí v rozsahu 480 až 850 V. Výstupní strana dosahuje výkonu 19,2 kW, napětí jako u všech typů 3 x 400V, proud jako předchozí typ 29A, účinnost 97,8%.

Refusol 100K, jedná se o centrální střídač, má účinnost 95 % s možným maximálním připojením fotovoltaického výkonu 115 kW rozsah vstupních napětí 460 – 800 V, maximální vstupní proud 240 A. Výstupní výkon dosahuje hodnot 100 kW, 400 V [18] o frekvenci opět 50 - 60 Hz a proudu 158 A. Rozměry tohoto střídače je podstatně větší, než doposud popisované střídače a to 1200 x 2000 x 600 mm a hmotnost zařízení je 860 kg.

Posledním typem tohoto výrobce je typ 160 K, jedná se opět o centrální střídač, s maximálním vstupním výkonem 184 kW se vstupním napětím v rozsahu 460 – 800 V a vstupního proudu 375 A [18]. Výstupní výkon dosahuje hodnot 160 kW, proudu 232 A, při stejných hodnotách napětí jako předcházející typ. Liší se pouze v hodnotě maximálního výstupního proudu 160 kW. Účinnost střídače je 95 %. Velikost je stejná jako předchozí typ, tedy 1200 x 2000 x 600 mm, ale narostla hmotnost na hodnotu 920 kg.

6.3 Střídače SOLON

Od tohoto výrobce budou popsány dva typy SOLON Satis Inverter 30/750 a druhý 40/750. Oba dva mají stejné rozměry 446 x 600 x 130 mm a hmotnost 21 kg [14]. Obsahují displej pro zobrazování nasbíraných dat a systémových hlášení, pro komunikaci slouží USB port a CANOpen. Oba střídače dosahují maximálně 94,5 % účinnost, maximální vstupní napětí 750 V.

Prvním popisovaným střídačem je typ SOLON Satis Inverter 30/750 [14], maximální připojený fotovoltaický výkon dosahuje hodnoty 3450 W, maximální vstupní proud 7,7 A, oproti tomu výstupní hodnoty dosahují hodnot 2850 W resp. 10 A. Napěťový rozsah výstupního napětí 196 – 276 V. Druhý typ, tedy Satis Inverter 40/750 má maximální vstupní výkon 4600 W a proud 12 A. Výstupní výkon dosahuje hodnot 3800 W a proud 18 A.

6.4 Střídače SolarMax

Od tohoto švýcarského výrobce prvním popsáním typem bude střídač ze série S, který nese označení SolarMax 35S [10], tento model dosahuje vstupního výkonu 45 kW, maximální vstupní napětí 78 V. Výstupní napětí dosahuje hodnot 320 - 460 V o frekvenci v rozmezí 45 – 55 Hz a proudu maximálně 54 A. Maximální výstupní výkon dosahuje výkonu 38,5 kW. Ještě v této modelové řadě je méně výkonný střídač SolarMax 20S, který se liší ve vstupním výkonu a napětí, výstupním výkonu a proudu. Vstupní výkon má hodnotu 24 kW, vstupní proud 48 A, výstupní výkon 22 kW a proud dosahuje maximální hodnoty 31 A.

U tohoto výrobce je ještě série C [10], jedná se o centrální střídače a v této sérii je více typů. Liší se hlavně výkonnostně, dosahují vstupní výkony hodnot 24 kW až 400 kW, rozmezí vstupních proudů se pohybuje v hodnotách 48 – 720 A. Výstupní hodnoty výkonu v hodnotách 22 – 330 kW a proud se pohybuje v rozmezích mezi 31 až 459 A.

6.5 Střídače Danfoss

Tento výrobce nabízí opět více typů střídačů, liší se podle výkonu a nesou označení TLX 10k, TLX 12.5k a TLX 15k [11]. U prvního zmíněného dosahuje vstupní výkon hodnot 10,3 kW, maximální vstupní napětí 1000 V, výstupní napětí 3x230 V, vstupní proud 24 A a výstupní 3 x 15 A. Velikost střídače je 700 x 525 x 250 mm a váha 35 kg. Účinnosti dosahuje vyšší jak 97 %.

Dalšími popisovanými střídači budou TLX 12,5k a TLX 15k, tyto střídače dosahují stejných hodnot jako předchozí popisovaný typ, liší se pouze ve výkonu, první dosahuje výkonu 12,9 kW a poslední dosahuje hodnot 15,5 kW. Výstupní proud u těchto dvou zařízení je 36 A, výstupní proud má hodnotu 3 x 19 A resp. u TLX 15k 3 x 19 A [11]. Zbývající hodnoty jsou stejné jako u prvního popisovaného střídače od tohoto výrobce.

6.6 Porovnání střídačů

V této kapitole jsou v tabulce uvedeny parametry jednotlivých střídačů.

Výrobce a typ	Delta SI 2500 (Solivia 2.5)	Delta SI 3300 (Solivia 3.3)	Refusol 10K	Refusol 12K	Refusol 13K*	Refusol 15K	Refusol 17K*	SolarMax 35S	Danfoss TLX 10k	Danfoss TLX 15k
Vstupní napětí MPP [V]	150-450	150-450	380-800 (380-850)	410-800	420-850	460-800	445-850	400-800	430-800	430-800
Maximální napětí [V]	125-540	125-540	900 (1000)	900	1000	900	1000	900	1000	1000
Vstupní proud [A]	18,3 (18)	24	29	30	30	36	38,5	78	24	36
Max.vstupní výkon [kW]	3,1	4	11,7 (11)	13,8	13,6	17,5	18,1	45	10,3	15,5
Výstupní napětí [V]	196-253 (184-264)	196-253 (184-264)	400 (3x400)	400	3x400	400	3x400	460	3x230	3x230
Výstupní proud [A]	12,8 (13)	17	18	29	18	25	29	54	3x15	3x22
Max.výstupní výkon [kW]	2,5	3,5	11 (10)	12	18	16,5	29	38,5	10	15
Účinnost [%]	95,6 (96)	96	97,8 (98)	98	98	98	98,2	96,8	98	98
Evropská účinnost [%]	94,6 (94,4)	94,8	97,4	97,5	97,8	97,7	97,8	95,5	97	97

Tabulka 3 - Přehled střídačů (poznámka: uvedené hodnoty v závorce, jsou u novějšího typu. * jedná se o nový typ, náhrada za starší Refusol 15K)

V předchozí tabulce jsou vypsané základní údaje o jednotlivých střídačích. Hodnoty v závorkách u prvních tří střídačů, jsou hodnoty pro novější typ střídače, které jsou v nabídce od druhé poloviny roku 2010. Střídače označené hvězdičkou, tedy Refusol 13K a 17K nahradili starší typ Refusol 15K. V tabulce jsou uvedeny vstupní napětí MPP, maximální hodnoty vstupního napětí, které lze na tento střídač připojit. Ve třetím řádku jsou údaje maximálního vstupního proudu, který lze připojit na vstupní svorky, aby nedošlo k poškození střídače. Na dalším řádku tabulky jsou uvedeny hodnoty maximálního možného připojeného výkonu solárních panelů, nejvíce možný připojený výkon může být připojen na střídač SolarMax 35S a to až 45 kW. V následujícím řádku jsou uvedeny hodnoty napětí na výstupních svorkách. Na šestém řádku je uveden výstupní proud, na sedmém je uveden výstupní výkon střídače. Na předposledním řádku tabulky je uvedena celková účinnost

střídače a pro porovnání na posledním řádku tabulky je uvedena tzv. Evropská účinnost. Z tabulky je patrné, že největší účinnosti dosahuje střídač Refusol 17K a to 97,8 %, naopak nejmenší účinnost 94,4 % dosahuje Delta Solivia 2.5. Rozdíl účinností je způsoben tím, že součástí střídačů Delta je transformátor, oproti ostatním s vyšší účinností, u kterých není součástí transformátor.

7 Fotovoltaický inkubátor Hády

Fotovoltaický inkubátor Hády se nachází v areálu firmy Energ Servis a.s. sídlem v Brně. Areál se nachází na ploše o rozloze 2,2 hektaru a má vystavěno několik typů fotovoltaických systému s využitím různých typů panelů. V areálu se nachází instalace na rovnou a šiknou střechu, volný pozemek a polohovací zařízení tzv. tracker.

V první fázi v roce 2009 jsou zde namontovány panely od firmy Solon deset panelů typu 295 Wp, takže celkový výkon 2950 Wp na rozloze 16,9 m² a sklonem 30° a orientací 5° oproti jihu. Na rovné střechě je umístěno šestnáct panelů o sklonu 25° NexPower 95 Wp o celkovém výkonu 1520 Wp na ploše 24,6 m². Dalším typem je dvanáct panelů od firmy Solon 220 Wp, tedy o celkovém výkonu 2760 Wp, toto seskupení se nachází na volné ploše na rozloze 19,68 m², sklon instalace je 30° s orientací přímo na jih. Dalším typem na volné ploše, tentokrát o rozloze 19,8 m² se nachází dvanáct panelů typu Solon 220 Wp o celkovém výkonu 2640 Wp. Posledním typem na volné ploše je dvanáct panelů od firmy Yohkon 220 Wp, resp. Celkový výkon 2640 Wp a celkové ploše 19,9 m². Na doposud popsanych instalacích jsou použity střídače Delta SI2500.

Dále inkubátor Hády má instalace panelů na otočném tzv trackeru, obsahuje celkem osmnáct panelů typu Yohkon 180 Wp, tedy o celkovém výkonu 3240 Wp na ploše 22,98 m². Na této instalaci je použit střídač Delta SI3300. V poslední instalaci je použit střídač Refusol 15K a jedná se o padesát a jeden panel Yohkon 220Wp o celkovém výkonu 11,22 kWp. Instalace se nachází na šikmé střechě o celkové ploše 84,66 m². Vše je uvedené přehledně v následující tabulce (Tabulka 4).

Ozn.	Střídač	Instal. výkon	Panely					
			Typ	Výkon panelu	Počet	Zapojení	Orient. jih+ °	Sklon
E1	Delta SI2500	2,95	OLON 295Wp	295Wp	10	1 string po 10 panelech	5	30
E2	Delta SI2500	1,52	NexPower 95Wp	95Wp	16	4 stringu po 4 panelech	5	25
E3	Delta SI2500	2,76	OLON Blue 230/07 220Wp	220Wp	12	1 string po 12 panelech	0	30
E4	Delta SI2500	2,64	PhonoSolar 220Wp	220Wp	12	1 string po 12 panelech	0	30
E5	Delta SI2500	2,64	YOHKON 220Wp	220Wp	12	1 string po 12 panelech	0	30
E6	Delta SI3300	3,24	YOHKON 180Wp	180Wp	18	2 stringy po 9 panelech	-	-
E7	Refu Refusol 15K	11,22	YOHKON 220Wp	220Wp	51	3 stringy po 17 panelech		

Tabulka 4 - Přehled první etapy

V druhé fázi došlo k výměně některých komponentů z první fáze a jejich rozšíření. Ke změně došlo na první instalaci, kde se vyměnilo deset panelů Solon 295Wp za 12 kusů panelů Solon Black 230/07 220 Wp o celkovém výkonu 2,64 kWp, střídač zůstal původní, tak jako orientace a sklon. Na druhé instalaci z první fáze došlo ke zvýšení počtu panelů z 16 na 20 kusů a ke změně typu na NexPower 135 Wp, celkový výkon vzrostl na hodnotu 2,70 kWp, také se změnil sklon panelů, ze 30° na 25°. Na zbývajících instalacích nedošlo zatím ke změně. Opět je vše uvedeno v tabulce (Tabulka 5).

Ozn.	Střídač	Instal. výkon	Panely					
			Typ	Výkon panelu	Počet	Zapojení	Orient. jih+ °	Sklon
E1	Delta SI2500	2,64	OLON Black 230/07 220Wp	220Wp	12	1 string po 12 panelech	5	30
E2	Delta SI2500	2,70	NexPower 135Wp	135Wp	20	5 stringu po 4 panelech	5	25
E3	Delta SI2500	2,64	OLON Blue 230/07 220Wp	220Wp	12	1 stringy po 12 panelech	0	30
E4	Delta SI2500	2,64	PhonoSolar 220Wp	220Wp	12	1 string po 12 panelech	0	30
E5	Delta SI2500	2,64	YOHKON 220Wp	220Wp	12	1 string po 12 panelech	0	30
E6	Delta SI3300	3,24	YOHKON 180Wp	180Wp	18	2 stringy po 9 panelech	-	-

Tabulka 5 - Přehled instalací první etapy po úpravě

K rozšíření došlo o dvě stejné instalace s panely Solon Blue 230/07 220Wp v počtu 64 panelů resp. 128 panelů o celkovém výkonu 14,08 resp. 28,16 kWp. U těchto instalací jsou zapojeny střídače Danfoss TLX 15K. Další instalace je provedena panely Yohkon YE6220P

225 Wp v počtu 72 panelů a tedy o celkovém výkonu 16,20 kWp. Čtvrtá nová instalace je provedena stejným typem panelů jako v předchozí, tedy Yohkon YE6220P 225Wp tentokrát v počtu 68 panelů a celkovém výkonu 15,30 kWp a střídačem Danfoss TLX15K. Další instalací jsou panely od firmy Solon typ Blue 230/07 220 Wp v počtu 180 panelů o celkovém výkonu 39,60 kWp. Tato sestava používá střídač, SolarMax 35S. Předposlední novou instalací je kombinace 72 panelů Solon 205 Wp a osmi panelů Solon 210 Wp o celkovém výkonu 16,44 kWp a se střídačem Danfoss TLX 15K. Poslední instalace obsahuje panely typu Solon Blue 230/07 o výkonu 220 Wp v počtu 48 kusů, tedy o celkovém výkonu 10,56 kWp. Sestava používá střídač Danfoss TLX 10K (viz. Tabulka 6).

Ozn.	Střídač	Instal. výkon	Panely					
			Typ	Výkon panelu	Počet	Zapojení	Orient. jih+ °	Sklon
A1	Danfoss TLX 15K	14,08	SOLON Blue 230/07 220Wp	220Wp	64	4 stringy po 16 panelech	5	25
A2	Danfoss TLX 15K	14,08	SOLON Blue 230/07 220Wp	220Wp	64	4 stringy po 16 panelech	5	25
B	Refu Refusol 15K	16,20	YOHKON YE6220P 225Wp	225Wp	72	4 stringy po 18 panelech	5	20
F	Danfoss TLX 15K	15,30	YOHKON YE6220P 225Wp	225Wp	68	4 stringy po 17 panelech	5	20
C	SolarMax 35S	39,60	SOLON Blue 230/07 220Wp	220Wp	180	9 stringu po 20 panelech	25	25 a 30
D	Danfoss TLX 15K	16,44	72x SOLON 205Wp 8x SOLON 210Wp	72x 205Wp 8x 210WP	72	4 stringy po 20 panelech	25	25
G	Danfoss TLX 10K	10,56	SOLON Blue 230/07 220Wp	220Wp	48	3 stringy po 16 panelech	25	25

Tabulka 6 - Přehled instalací druhé etapy

7.1 Naměřená data I. etapy

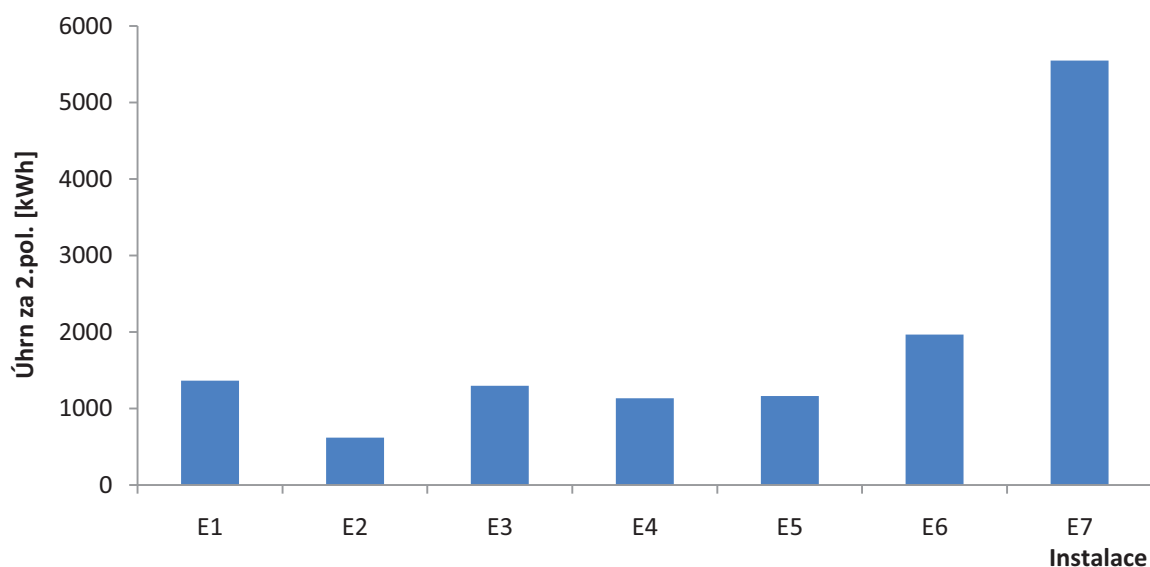
V následujících tabulkách jsou uvedeny naměřená data na instalacích v první etapě. Data jsou nasbírána pouze za druhé pololetí roku 2009. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty jednotlivých instalací, v předposledním řádku jsou součty za druhé pololetí pro jednotlivé instalace. Naopak v posledním sloupci jsou uvedeny celkové součty na měsíc. Z těchto součtů je patrné, že více panely generují elektrickou energii v letních měsících kdy je větší sluneční svit oproti zimním měsícům. V předposledním řádku je uvedena průměrná hodnota za toto druhé pololetí. Celkově všechny instalace vyrobily za druhé pololetí roku 2009 13098 kWh, což je průměrně na den 71,19 kWh. Na následujícím obrázku (Obrázek 11) jsou do grafu zaneseny hodnoty jednotlivých instalací za celé druhé pololetí. Z grafu je patrné, že nejvíce

energie získala instalace označení E7, jedná se také o největší instalaci o nominálním výkonu 11,22 kWp.

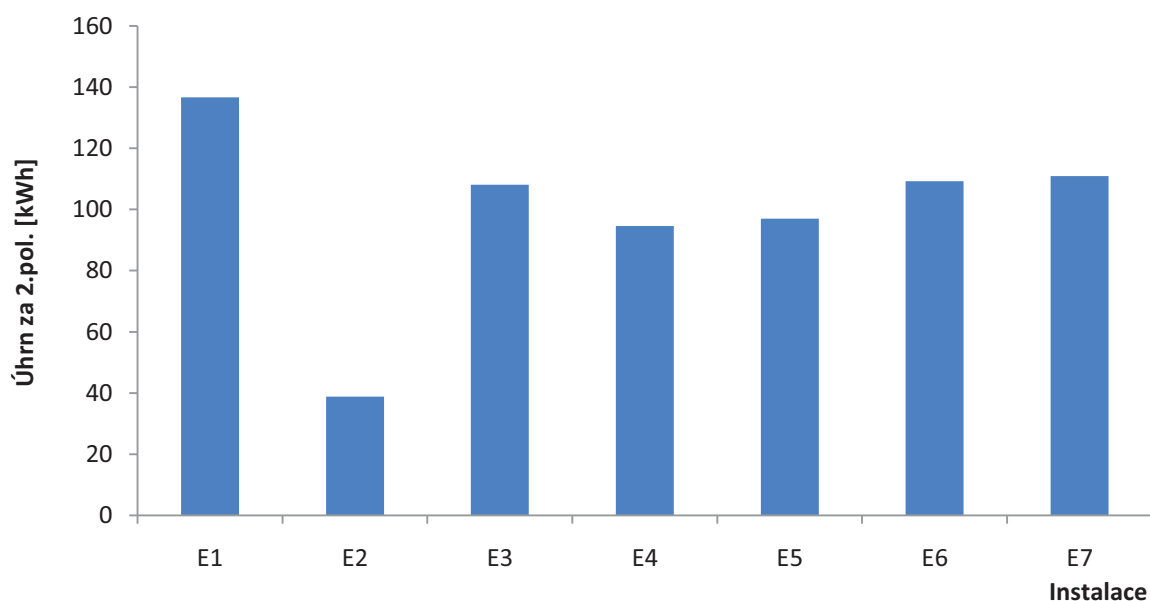
V posledním řádku je uveden přepočet dat na výkon generovaný z jednoho panelu instalace. Nejvíce energie generuje podle očekávání panel v instalaci E1, kde jsou nainstalované nejvýkonnější panely o výkonu 295 Wp. Naopak nejméně generují panely s nejnižším výkonem 95 Wp, instalace E2. Ostatní instalace mají stejně výkonné panely, jen se liší výrobci, výjimku tvoří instalace E6, má panely o výkonu 180 Wp, ale jedná se o tracker. Z přepočtu je patrné že panely na trackeru, s nižším výkonem, dosahují stejných energetických zisků jako panely o 40 Wp výkonnější. Z ostatních instalací lze usoudit účinnost panelů od různých výrobců, protože instalace jsou totožně orientovány a mají stejný sklon. Z tabulky je vidět, že nejvíce energie získá panel Yohkon v instalaci E7 s hodnotou 110,92 kWh, v instalaci E5 jsou stejné panely ale hodnota výkonu je 97,04 kWh. Tento rozdíl může být způsoben drobným zastíněním, například špičkou stromu, hromosvodem atd. Druhým nejvýkonnějším panelem je panel od výrobce Solon v instalaci E3. Následován již zmíněným panelem v instalaci E5. Poledním panelem se stal panel v instalaci E4 od firmy PhonoSolar s hodnotou 94,64 kWh. Vše je vyneseno do následujících grafů.

	E1 - Solon 295Wp [kWh]	E2 - Nexpower 95 [kWh]	E3 - Solon Blue 220 [kWh]	E4 - Phono Solar 220 [kWh]	E5 - Yohkon 220 [kWh]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh]	E7 - Yohkon 220 [kWh]	Součet na měsíc [kWh]
Nom. výkon [kWp]	2,95	1,52	2,76	2,64	2,64	3,24	11,22	26,97
Červenec	423,77	211,37	417,73	360,52	383,20	633,10	1805,30	4234,98
Srpen	425,04	198,72	412,62	356,48	377,47	634,91	1679,90	4085,14
Září	324,06	142,33	314,89	274,96	271,18	437,89	1195,40	2960,70
Říjen	132,31	53,38	115,48	109,01	92,53	172,17	391,10	1065,98
Listopad	45,34	10,93	26,22	24,90	29,04	64,80	311,40	512,63
Prosinec	16,58	4,04	10,60	9,82	11,09	23,98	162,70	238,81
Souč. instal. [kWh]	1367,09	620,78	1297,53	1135,68	1164,50	1966,84	5545,80	13098,22
Denní prům. [kWh]	7,43	3,37	7,05	6,17	6,33	10,69	30,14	71,19
Přepočet na 1 panel [kWh]	136,71	38,80	108,13	94,64	97,04	109,27	110,92	695,50

Tabulka 7 - Naměřená data výroby elektrické energie za 2. pol. 2010



Obrázek 11 - Naměřená data 2. pol. 2010 v grafu



Obrázek 12 - Přepočet elektrické energie na jeden panel za 2. pol. 2010

Nadcházející tabulka (Tabulka 8) a obrázek (Obrázek 13) obsahují přepočtené předchozí hodnoty na 1 kWp instalovaného výkonu. Opět jsou uvedeny součty jednotlivých instalací a součty na jednotlivé měsíce. Z tabulky i grafu je patrné, že nejvíce energie vyrobí instalace E6 s panely Yohkon 180Wp, tento fakt je způsobený tím, že se jedná o otočný systém o tzv. tracker. Z pevných instalací je to poměrně vyrovnané, protože se jedná ve většině případů o stejné výkonné panely, ale i přesto jsou vidět rozdíly. Nejvíce energie vyrobí instalace E7 a to 494,28 kWh/kWp. U této instalace je sice menší sklon, ale jiný střadač, Refu Refusol 15K tzn.

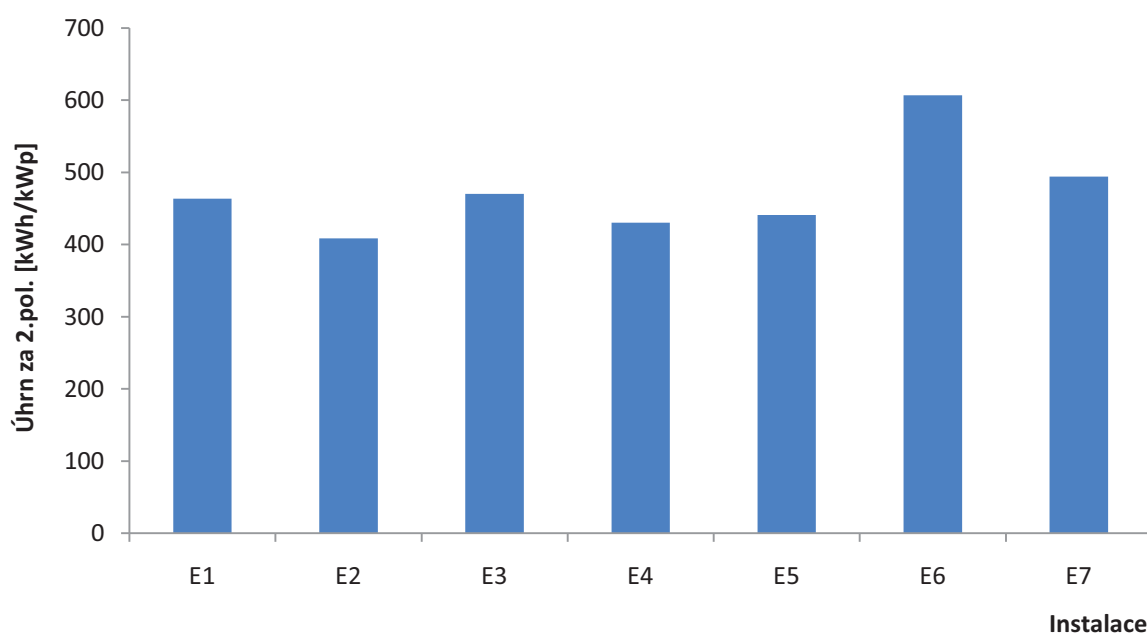
střídač s větší účinností oproti ostatním použitým střídačům od firmy Delta. Také je to způsobené zapojením 17 panelů do jednoho stringu, tím pádem vyšší stejnosměrné napětí, nižší proudy a tím způsobené menší ztráty. V závěsu se nachází instalace E3 s hodnotou 470,12 kWh/kWp, v těsném odstupu je instalace E1 s 463,42 kWh/kWp. Dále jsou instalace E4 a E5 mezi kterými je nepatrný rozdíl, 441,10 resp. 430,18 kWh/kWp. Na pomyslném posledním místě skončila instalace E2, jedná se o nejméně výkonné panely a to o panely NexPower 95 Wp.

Instalace E3, E4 a E5 jsou totožné, o stejně výkonných panelech, jsou pouze rozdílní výrobci. Z grafů je patrné, jaká je účinnost stejně výkonných panelů na stejných instalacích, ale od různých výrobců. Nejvíce účinné, získaly za druhé pololetí roku 2009 nejvíce energie, jsou od výrobce Solon. Druhé nejúčinnější z této trojce jsou panely od výrobce Yohkon. Posledním typem jsou od výrobce PhonoSolar. Toto pořadí potvrzuje udávané účinnosti panelů od výrobce, které jsou uvedeny v přehledové tabulce (Tabulka 1). Z tohoto srovnání jsou patrné kvality výrobků z různých zemí. Nej kvalitnější se z tohoto přehledu stal německý výrobce Solon, dosahuje nejvyšší účinnosti svých výrobků. Naopak nejhoršího výsledku dosáhl čínský výrobce panelů, firma Phono Solar. Mezi těmito dvěma výrobci se pohybuje španělský výrobce Yohkon.

Dále byl proveden propočet, o kolik je tracker výkonnější oproti pevným instalacím. Průměr výkonu na všech 6 pevných instalacích na 1 kWp je 451,25 kWh/kWp, výkon z trackeru je 607,05 kWh/kWp, po jednoduchém výpočtu je patrné, že energie získaná z pohyblivé instalace, trackeru, je o 34,5% vyšší. Z tohoto také vyplývá ekonomická výhodnost, že se tento pohyblivý systém vyplatí pouze v případech, pokud by jeho investice nepřesáhla navýšení oproti pevným instalacím náklady o více jako 30 %.

Instalace/ Datum	E1 - Solon 295Wp [kWh/k Wp]	E2 - Nexpow er 95Wp [kWh/k Wp]	E3 - Solon Blue 220 [kWh/ kWp]	E4 - Phono Solar 220 [kWh/k Wp]	E5 - Yohkon 220 [kWh/k Wp]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh/k Wp]	E7 - Yohkon 220 [kWh/k Wp]	Měsíční výkon [kWh/k Wp]
Červenec	143,65	139,06	151,35	136,56	145,15	195,40	160,90	157,03
Srpen	144,08	130,74	149,50	135,03	142,98	195,96	149,72	151,47
Září	109,85	93,64	114,09	104,15	102,72	135,15	106,54	109,78
Říjen	44,85	35,12	41,84	41,29	35,05	53,14	34,86	39,52
Listopad	15,37	7,19	9,50	9,43	11,00	20,00	27,75	19,01
Prosinec	5,62	2,66	3,84	3,72	4,20	7,40	14,50	8,85
Součet instal. [kWh/kWp]	463,42	408,41	470,12	430,18	441,10	607,05	494,28	485,66

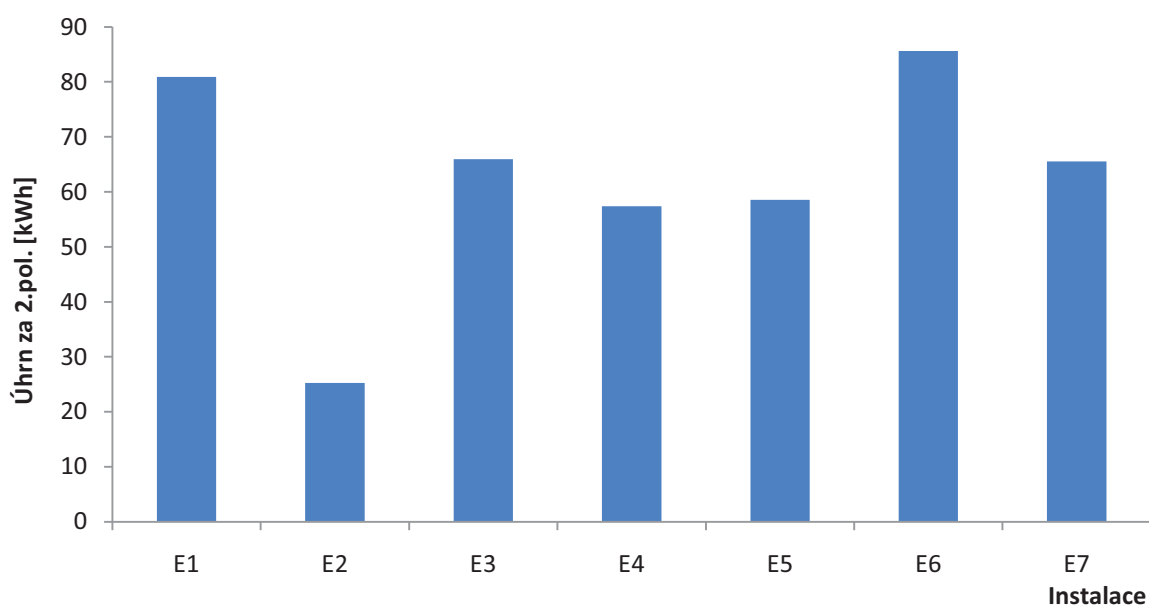
Tabulka 8 - Přepočet el. energie na 1 kWp instalovaného výkonu za 2. pol. 2010



Obrázek 13 - Přepočet el. energie na 1 kWp instalovaného výkonu za 2. pol. 2010 v grafu

	E1 - Solon Black 300/100 295Wp [kWh]	E2 - Nexpower 95W [kWh]	E3 - Solon Blue 220 [kWh]	E4 - Phono Solar 220 [kWh]	E5 - Yohkon 220 [kWh]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh]	E7 - Yohkon 220 [kWh]	Součet na měsíc [kWh]
Datum/Plocha [m2]	16,9	24,6	19,68	19,8	19,9	22,98	84,66	208,52
Červenec	25,08	8,59	21,23	18,21	19,26	27,55	21,32	141,23
Srpen	25,15	8,08	20,97	18,00	18,97	27,63	19,84	118,80
Září	19,18	5,79	16,00	13,89	13,63	19,06	14,12	87,53
Říjen	7,83	2,17	5,87	5,51	4,65	7,49	4,62	33,51
Listopad	2,68	0,44	1,33	1,26	1,46	2,82	3,68	10,00
Prosinec	0,98	0,16	0,54	0,50	0,56	1,04	1,92	3,78
Součet instal. kWh/1 m²	80,89	25,24	65,93	57,36	58,52	85,59	65,51	394,85

Tabulka 9 - Přepočet el. energie za 2. pol. 2010 na plochu 1 m² instalované plochy

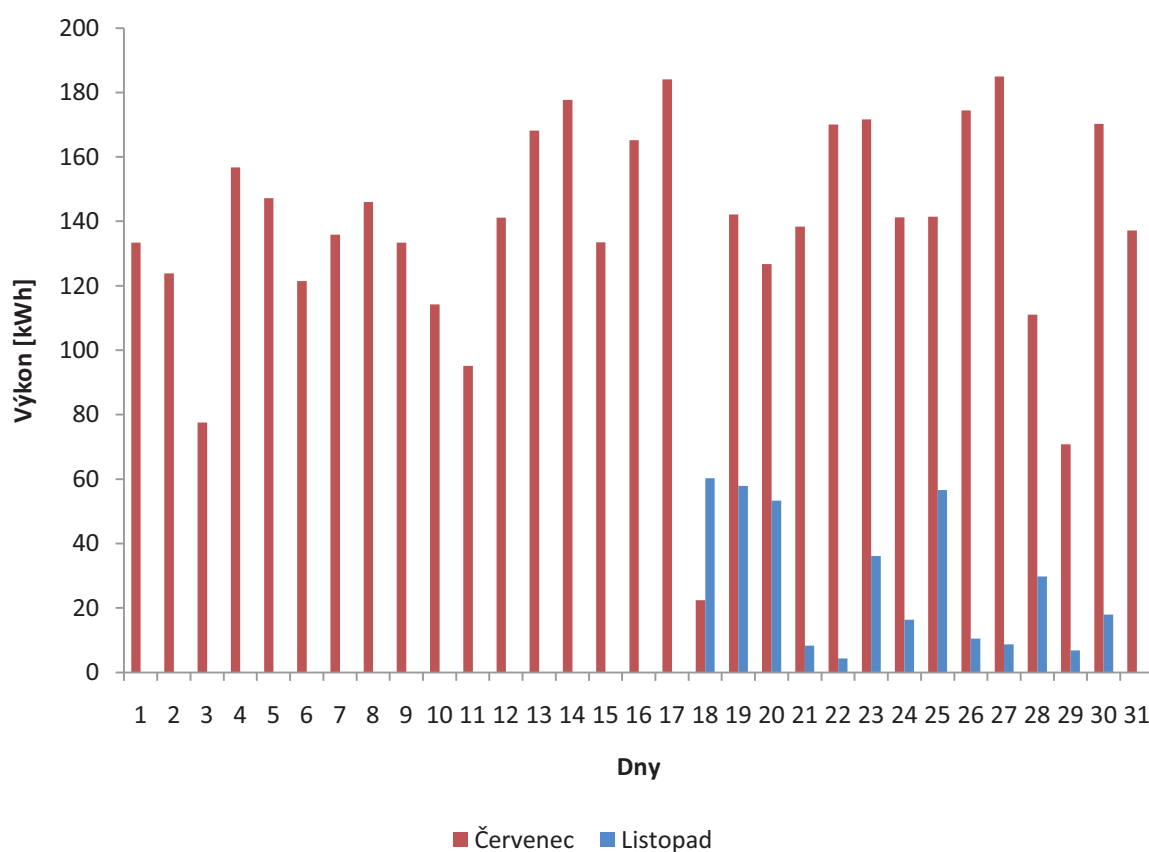


Obrázek 14 - Přepočet el. energie za 2. pol. 2010 na plochu 1 m² instalované plochy v grafu

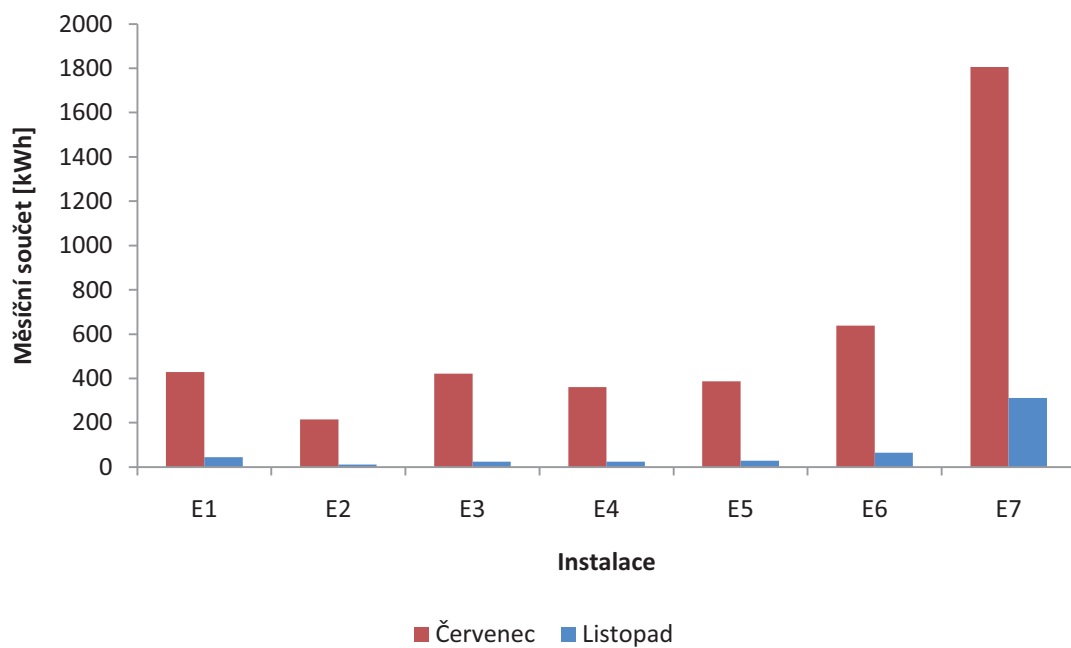
Na předchozí tabulce (Tabulka 9) a obrázku (Obrázek 14) jsou uvedeny přepočtené hodnoty na 1 m² instalované plochy. Z těchto přepočtů je patrné, že opět nejvíce energie získá instalace E6, tedy otočná instalace. Z pevných instalací je vítězem panely Solon Black 300/10 s výkonem 295 Wp na instalaci E1, tedy nejvíce výkonné panely. Panely o výkonu 220 Wp, jsou opět poměrně vyrovnané, což je patrné na předchozím grafu.

7.1.1 Naměřená měsíční data elektrické energie

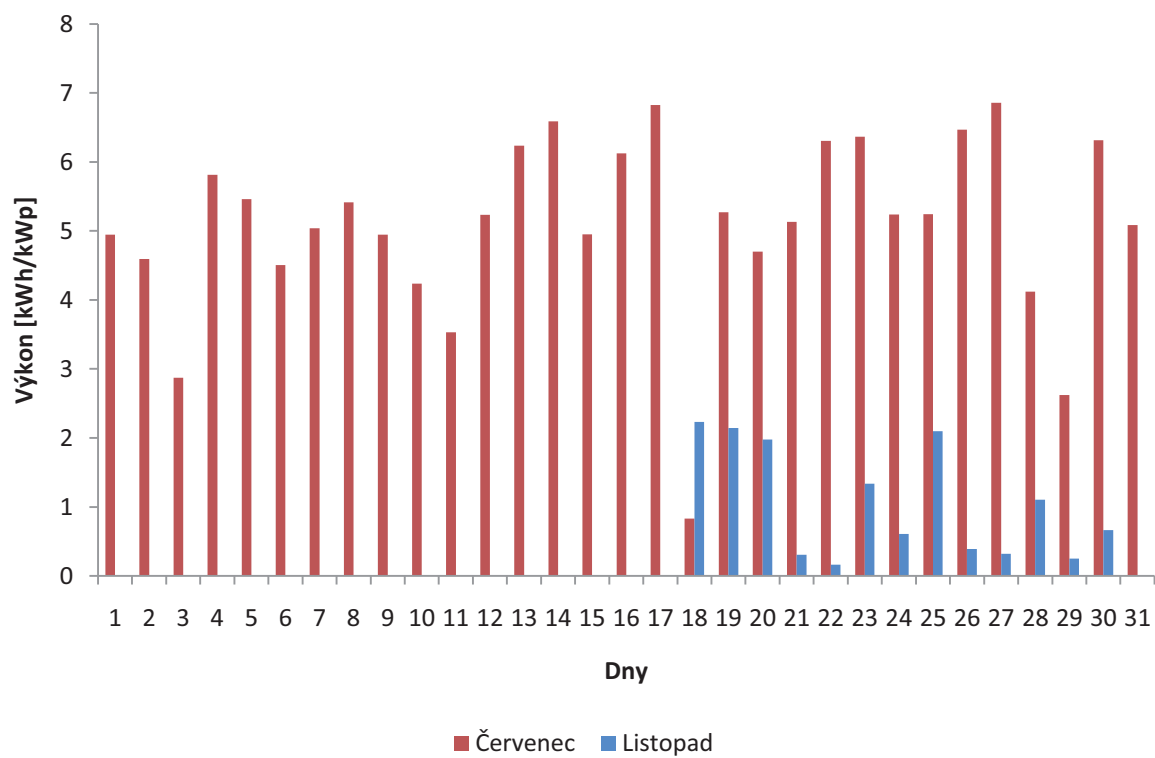
V příloze 13.1 na konci této práce se nachází tabulky s naměřenými daty z července roku 2009 a v příloze 13.2 se nachází naměřená data za listopad stejného roku. Jsou uvedeny hodnoty v kWh a přepočty na 1 kWp a na plochu. Jedná se o součet získané energie ze všech instalací, které jsou uvedeny v předchozí kapitole. Na, prvních, denních grafech (Obrázek 15, Obrázek 17, Obrázek 19) jsou uvedeny hodnoty na jednotlivé dny pro červenec a pro listopad pro porovnání, také v přepočtu na 1 kWp a na plochu 1 m². Listopadové hodnoty jsou samozřejmě poměrně o hodně nižší, díky menšímu slunečnímu svitu. Najdou se, ale i výjimky, jako například 18-tého. V listopadu tento den je hodnota vyšší energie oproti červencové. Průměrná hodnota na všechny instalace v červenci je 137,33 kWh a pro listopad 25,76 kWh, taky je vidět, že rozdíl mezi letním a zimním měsícem je poměrně veliký.



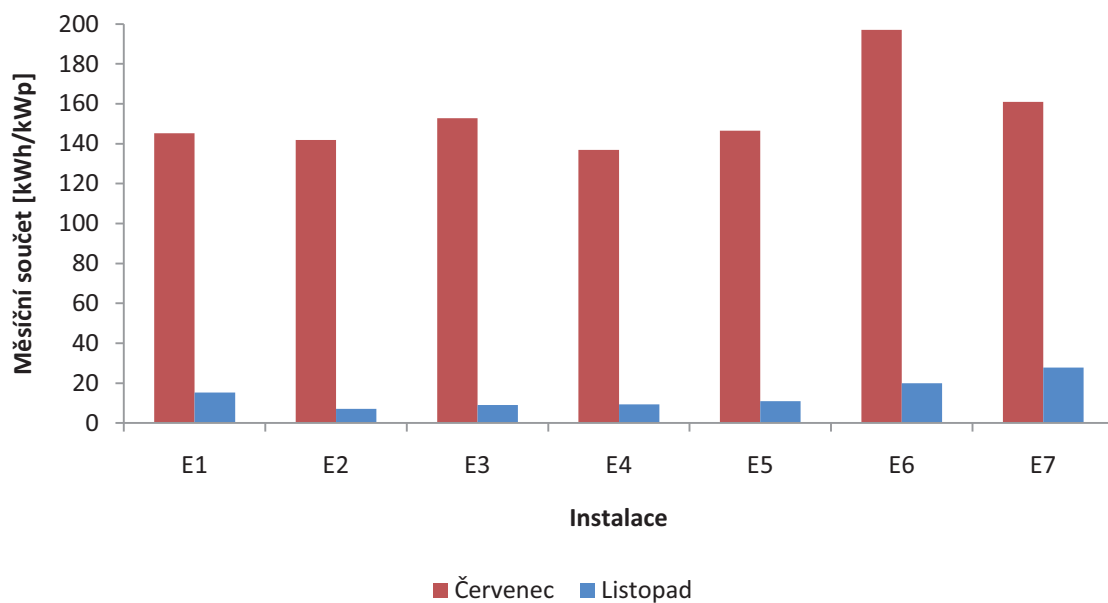
Obrázek 15 - Denní výkon za dva měsíce



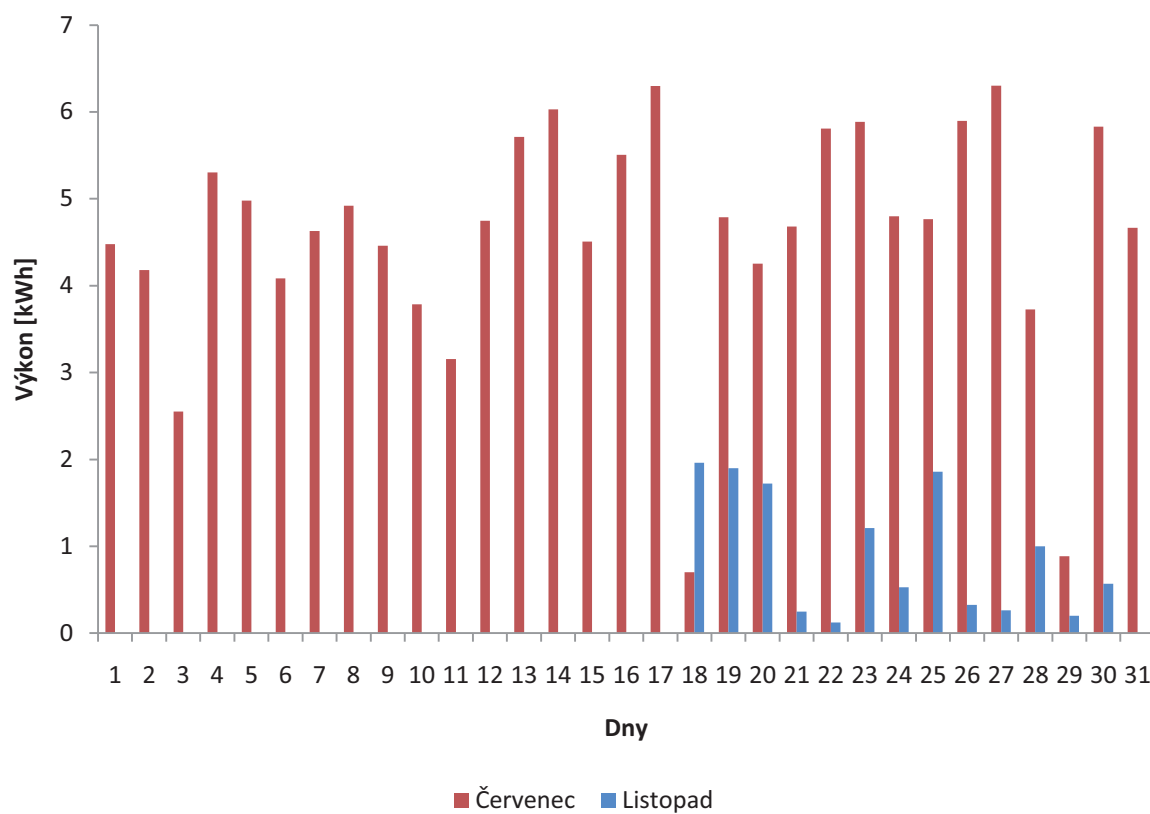
Obrázek 16 - Měsíční součet el. energie na jednotlivých instalacích



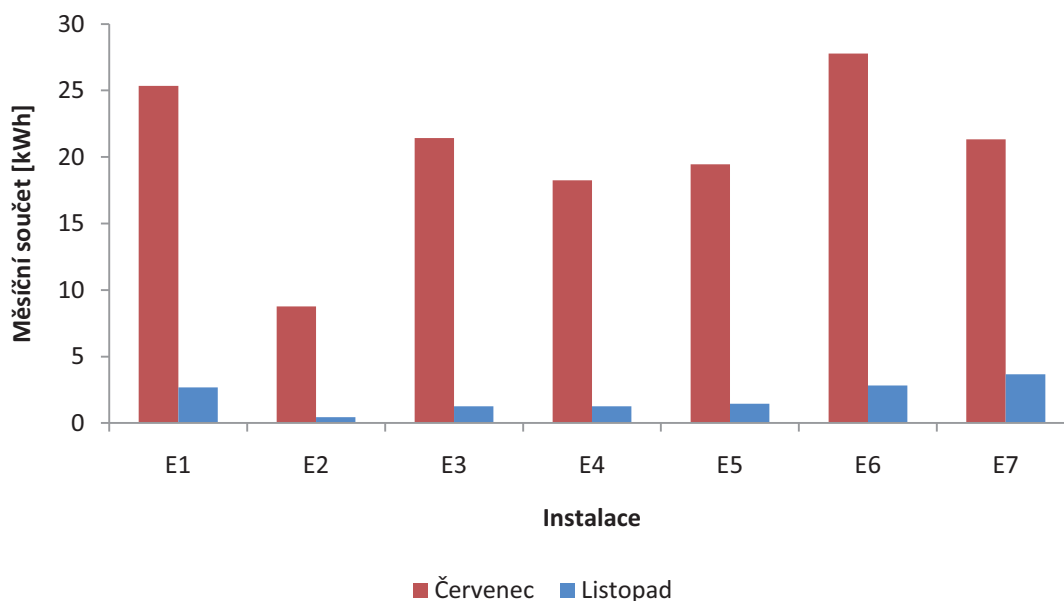
Obrázek 17 - Denní přepočet el. energie na 1 kWp



Obrázek 18 - Měsíční součet el. energie na jednotlivých instalacích



Obrázek 19 - Denní přepočet el. energie na 1 m²



Obrázek 20 – Měsíční součet el. energie na jednotlivých instalacích na 1 m²

7.2 Porovnání naměřených dat s teoretickými daty

V této kapitole budou naměřená data z předchozí kapitoly, porovnána s teoretickými hodnotami, které jsou získány z PVGISu [20], jedná se o internetový portál, který se zabývá problematikou slunečního záření v rámci fotovoltaické oblasti. Nacházejí se zde interaktivní mapy intenzity dopadu slunečního záření, různé propočty na konkrétní, uživatelsky nastavenými hodnotami a polohou instalací a spoustu dalších informací z této oblasti.

V následující tabulce jsou uvedeny naměřená data a jsou zde uvedeny i teoretické hodnoty z již zmíněného PVGISu. Jsou uváděny hodnoty pouze za druhou polovinu roku 2009, dřívější data nejsou k dispozici z důvodu výstavby instalací a postupnému zprovoznování odečítacího systému. Data z roku 2010, bohužel nejsou kompletní, z důvodu různých přestaveb a hlavně díky výpadku odečítacího systému, proto v této práci nejsou uvedeny.

	E1 - Solon 295Wp [kWh]		E2 - Nexpower 95W [kWh]		E3 - Solon Blue 220 [kWh]		E4 - Phono Solar 220 [kWh]	
Nominální výkon [kWp]	2,95		1,52		2,76		2,64	
	naměř.	teor.	naměř.	teor.	naměř.	teor.	naměř.	teor.
Červenec	423,8	359,0	211,4	198,0	417,7	355,0	360,5	340,0
Srpen	425,0	324,0	198,7	177,0	412,6	320,0	356,5	306,0
Září	324,1	244,0	142,3	130,0	314,9	240,0	275,0	230,0
Říjen	132,3	201,0	53,4	105,0	115,5	197,0	109,0	189,0
Listopad	45,3	91,2	10,9	46,9	26,2	88,6	24,9	84,7
Prosinec	16,6	64,0	4,0	32,6	10,6	62,0	9,8	59,3
Součet instal. [kWh]	1367,1	1283,2	620,8	689,5	1297,5	1262,6	1135,7	1209,0
Denní průměr [kWh]	7,4	7,0	3,4	3,7	7,1	6,9	6,2	6,6
Přepočet na 1 panel [kWh]	136,7	128,3	38,8	43,1	108,1	105,2	94,6	100,8

	E5 - Yohkon 220 [kWh]		E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh]		E7 - Yohkon 220 [kWh]	
Nominální výkon [kWp]	2,64		3,24		11,22	
	naměř.	teor.	naměř.	teor.	naměř.	teor.
Červenec	383,2	340,0	633,1	423,0	1805,3	1390,0
Srpen	377,5	306,0	634,9	382,0	1679,9	1190,0
Září	271,2	230,0	437,9	297,0	1195,4	820,0
Říjen	92,5	189,0	172,2	262,0	391,1	592,0
Listopad	29,0	84,7	64,8	114,0	311,4	257,0
Prosinec	11,1	59,3	24,0	81,3	162,7	171,0
Součet instal. [kWh]	1164,5	1209,0	1966,8	1559,3	5545,8	4420,0
Denní průměr [kWh]	6,3	6,6	10,7	8,5	30,1	24,0
Přepočet na 1 panel [kWh]	97,0	100,8	109,3	86,6	110,9	88,4

Tabulka 10 – Srovnávací tabulka naměřených a teoretických hodnot

Z tabulky je patrné, že prakticky získaná energie je v letních měsících vyšší než udávané teoretické hodnoty, naopak v zimních měsících je získaná energie naopak menší. Tyto vyšší a v zimě nižší hodnoty, mohou být způsobené tím, že teoretické hodnoty jsou počítané z teoretických, průměrných hodnot dopadajícího slunečního záření a průměrnými hodnotami zamračených dní a nemusí odpovídat skutečným, reálným podmínkám. V zimních podmínkách tento výraznější rozdíl bude zapříčiněn, sklonem panelů a zastíněním pro nižší dopadající sluneční paprsky. U některých instalací E2, E4 a E5 je celkový součet energie menší než teoretické předpoklady, tento rozdíl pravděpodobně bude způsoben, že na reálné instalaci se bude projevovat určitý vliv zastínění.

	E1 - Solon 295Wp [%]		E2 - Nexpower 95W [%]		E3 - Solon Blue 220 [%]		E4 - Phono Solar 220 [%]	
	naměř.	teor.	naměř.	teor.	naměř.	teor.	naměř.	teor.
Červenec	31,0	28,0	34,0	28,7	32,2	28,1	31,7	28,1
Srpen	31,1	25,2	32,0	25,7	31,8	25,3	31,4	25,3
Září	23,7	19,0	22,9	18,9	24,3	19,0	24,2	19,0
Říjen	9,7	15,7	8,6	15,2	8,9	15,6	9,6	15,6
Listopad	3,3	7,1	1,8	6,8	2,0	7,0	2,2	7,0
Prosinec	1,2	5,0	0,7	4,7	0,8	4,9	0,9	4,9
Součet instal. [%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

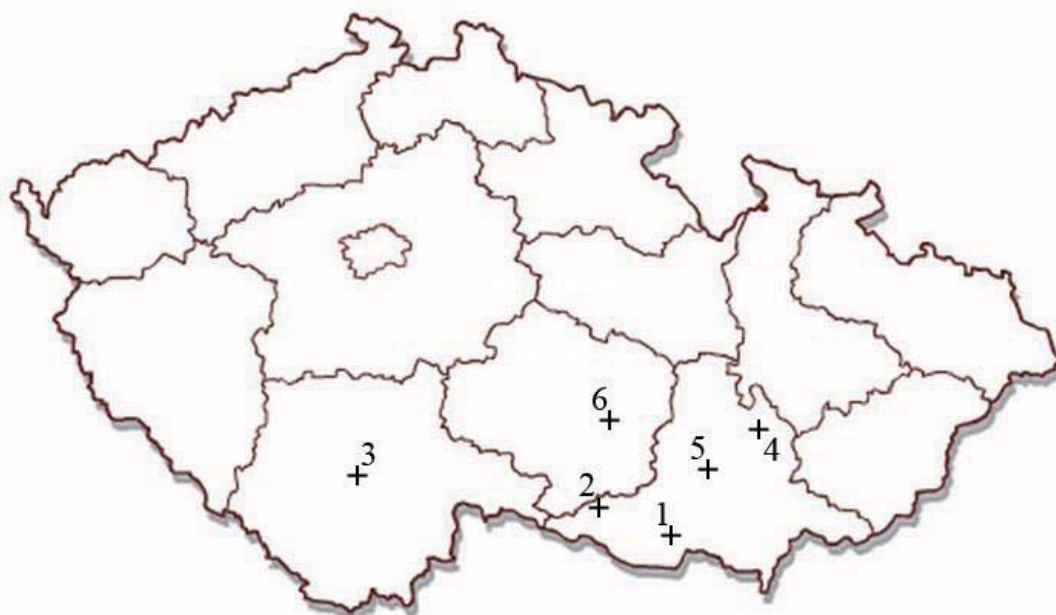
	E5 - Yohkon 220 [%]		E6 - Yohkon 180 Tracker [%]		E7 - Yohkon 220 [%]	
	naměř.	teor.	naměř.	teor.	naměř.	teor.
Červenec	32,9	28,1	32,2	27,1	32,6	31,4
Srpen	32,4	25,3	32,3	24,5	30,3	26,9
Září	23,3	19,0	22,3	19,0	21,6	18,6
Říjen	7,9	15,6	8,8	16,8	7,1	13,4
Listopad	2,5	7,0	3,3	7,3	5,6	5,8
Prosinec	1,0	4,9	1,2	5,2	2,9	3,9
Součet instal. [%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabulka 11- Srovnávací tabulka naměřených a teoretických hodnot v %

V předchozí tabulce jsou uvedeny procentuální podíly energie v jednotlivých měsících, souhrn je prováděn pouze za druhé pololetí. Podle očekávání je v letních měsících větší podíl jako v zimních měsících, a jak je patrné až o 30 % více energie. Z teoretických hodnot, které jsou přepočteny z dat získaných z již zmíněného PVGISu, jsou uvedeny vždy v druhém slupci pro danou instalaci. Z hodnot je patrné, že model počítá oproti reálně naměřeným datům s vyšším ziskem v zimních měsících, ale s menším ziskem v létě oproti reálně naměřeným hodnotám.

8 Porovnání lokalit v ČR

Tato kapitola porovná různé lokality v České republice z hlediska výkonnosti elektráren. Byly vybrány následující lokality, Brno, Hrušovany nad Jevišovkou, Moravské Budějovice, Protivín, Prostějov a Žďár nad Sázavou. Přehled je uveden v následující tabulce, ve které jsou uvedeny i základní informace o jednotlivých sestavách.



Obrázek 21 - Mapa porovnávaných lokalit (1 - Hrušovany nad Jevišovkou, 2 - Moravské Budějovice, 3 - Protivín, 4 - Prostějov, 5 - Brno, 6 - Žďár nad Sázavou)

Umístění:	Hrušovany nad Jevišovkou	Moravské Budějovice	Protivín	Prostějov	Brno	Žďár nad Sázavou
Nadmořská výška [m.n.m.]:	181	465	383	223	335	580
Výkon elektrárny [kWp]:	209,79	29,90	29,61	253,80	16,20	39,84
Typ panelu:	Solon Blue 230/07	Solon Blue 230/07	Solon Blue 230/07	Solon Blue 230/07	Yohkon YE220P	Solon Blue 230/07
Výkon panelu [WP]:	220/230	225	235	235	225	225
Orientace na jih:	10°	0°	7°	1°	5°	10°
Sklon panelů:	30°	15°	60°	11°	20°	25°
Typ měniče:	Refusol 15k	Refusol 15k	Refusol 17k	Refusol 10k Refusol 16k Refusol 17k	Refusol 15k	Refusol 15k Refusol 10k
Počet panelů	999	130	126	1080	72	177

Tabulka 12 - Přehled zvolených lokalit a základní informace

Z předchozí tabulky je patrné, že se ve většině případů jedná o panely jednoho výrobce, ze stejné řady Solon Blue 230/07, ale různých výkonů, 210, 225 a 235 Wp, k tomu pro porovnání panely od výrobce Yohkon typu YE220P o výkonu 225 Wp. Jak je vidět z přehledu, jedná se o různě velké elektrárny, nejbližší jsou podobné v Moravských Budějovicích a Protivíně, výkonnosti něco málo pod 30 kWp. Nejmenší sestava byla vybrána v Brně o výkonu 16,20 kWp, naopak největší v Prostějově necelých 254 kWp s počtem

panelů 1080. Střídače jsou u všech sestav stejného výrobce, jen jiné výkonnosti. Dále je v tabulce uveden sklon panelů a jejich orientace směrem k jihu.

Umístění elektrárny / Měsíc	Hrušovany nad Jevišovkou	Moravské Budějovice	Protivín	Prostějov	Brno	Žďár nad Sázavou
Leden	3108,2	510,0	x	x	32,7	572,7
Únor	9152,6	382,6	x	x	x	x
Březen	23508,4	x	x	x	1268,3	x
Duben	29100,2	x	x	x	1324,0	4802,8
Květen	22827,1	1688,2	x	x	1708,9	3882,6
Červen	29875,6	3440,1	x	x	2439,1	5015,7
Červenec	31387,0	4455,8	x	x	2540,0	5174,0
Srpen	28348,4	3831,4	587,1	23372,3	2105,4	4881,1
Září	21698,4	2689,4	2910,7	23291,1	1480,5	3981,2
Říjen	16031,2	1940,5	2619,2	18528,0	1152,3	3114,1
Listopad	7302,4	802,8	1135,7	9999,2	435,1	941,9
Prosinec	3745,2	249,7	797,9	4052,8	78,6	62,2
Celkem [MWh]	226,084	19,99	8,050	79,243	14,564	32,428
kWh na 1kWp	1073,833	668,579	271,888	312,228	899,068	813,963
Průměr 1kWp na den [kWh]	2,942	2,266	1,777	2,041	2,668	2,660

Tabulka 13 - Naměřená data za rok 2010 [kWh]

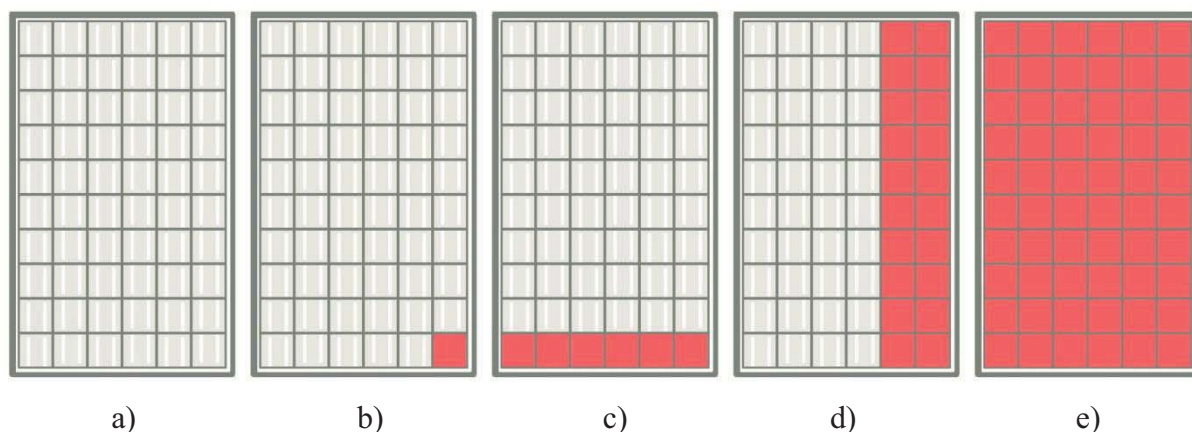
V předchozí tabulce jsou uvedeny naměřená data s vyrobenou energií za rok 2010. Podle očekávání by nejvíce energie získala největší zvolená elektrárna, tedy v Prostějově, ale bohužel data z této elektrárny jsou dostupné pouze od srpna. Takže nejvyšší hodnota generované energie dosáhla elektrárna nacházející se v Hrušovanech nad Jevišovkou, 226 MWh. Tyto celkové hodnoty, kvůli rozdílným velikostem elektráren a různým výpadkům, případně pozdější zprovoznění elektrárny. Dále jsou uvedeny hodnoty přepočtené na 1 kWp instalovaného výkonu, ale opět tyto hodnoty jsou zkresleny stejnými faktory jako celkový součet. Lépe pro porovnání vypovídají průměrné hodnoty 1 kWp na jeden den, tedy kolik energie generuje 1 kWp instalovaného výkonu. Z tabulky je patrné, že nejvíce energie generuje elektrárna v Hrušovanech nad Jevišovkou, 2,942 kWh. Na pomyslném druhém místě, se nachází Brno v těsném závěsu před Žďárem nad Sázavou. Tyto instalace mají malý rozdíl mezi sklonem a orientací na jih, brněnská instalace má 5° lepší orientaci směrem na jih, pravděpodobně důvod mírného vyššího výkonu, oproti žďárské instalace. Je patrné, že rozdíl mezi výkonnosti panelů od různých výrobců, v konkrétním případě firmy Solon a Yohkon, jsou jen nepatrné. Dokazují to poslední dva sloupce v předchozí tabulce. Naopak nejméně generuje instalace v Protivíně, 1,777 kWh na jeden instalovaný kWp. Může to být způsobené,

že tato instalace byla spuštěna až v srpnu, tedy chybí započítány letní měsíce, kdy je energetický zisk největší. Ze stejného důvodu je patrný nižší energetický zisk u instalace v Prostějově. Rozdíl mezi těmito dvěma instalacemi je pravděpodobně způsoben, větším sklonem panelů v Protivíně. Údaje jsou uvedeny v první přehledové tabulce v této kapitole.

Porovnání lokalit z pohledu nadmořské výšky nelze jednoznačně provést. Z teoretických poznatků by měl být větší energetický zisk s vyšší nadmořskou výškou z důvodu, že nedochází k takovému útlumu slunečního záření. Podle těchto poznatků by nejvíce energie měla získat fotovoltaická elektrárna ve Žďáru nad Sázavou, při nadmořské výšce 580 m. n. m., ale z dat je vidět, že nejvíce energie získá instalace v Hrušovanech nad Jevišovkou s nejnižší nadmořskou výškou (181 m. n. m.) je to způsobené jižnější polohou tohoto místa, takže má delší sluneční svit během roku a vyšší úhel dopadu slunečního záření. Srovnatelné instalace by byly v Brně a Protivíně, jedná se přibližně o stejnou polohu, s malým rozdílem nadmořské výšky. Jak je vidět z dat uvedených v předchozí tabulce v posledním řádku změřené hodnoty jsou hodně odlišné 2,668 resp. 1,777 kWh na den a 1 kWp. Tento rozdíl bude způsoben rozdílným sklonem instalací, v Brně 20° a v Protivíně 60°, což je zřejmě na tuto zeměpisnou polohu instalace příliš vysoká hodnota. Při porovnání instalací v Brně a Moravských Budějovic, které leží také poměrně ve stejném umístění jen s rozdílnými nadmořskými polohami, podle teoretických poznatků by Moravské Budějovice měli mít vyšší zisk, ale jak vidíme z reálných dat, vyšší zisk je v Brně. Což naznačuje, že v našich podmínkách je vliv nadmořské výšky zanedbatelný a při volbě lokality pro výstavbu fotovoltaické elektrárny není významný.

9 Vliv zastínění

Bylo provedeno měření na fotovoltaickém inkubátoru Hády, vliv zastínění na výkonnost panelů. Měření proběhlo na dvou instalacích, první měření proběhlo na instalaci na volné ploše. Jedná se o sestavu označovanou E3, s panely Solon Blue 230/07 o výkonu 220 Wp o celkovém výkonu 2,64 kWp, jedná se o zapojení 2 stringů po 6 panelech na střídač Delta SI2500. Druhá měřená instalace o výkonu 16,2 kWp, na budově B, která se nachází na střeše kotelny. Jedná se o instalaci s polykrystalickými panely Yohkon YE6220P o výkonu 220 Wp. Měření probíhalo odečtením hodnoty výkonu celé instalace na střídači určeném pro tuto instalaci, tedy výsledné procentuální hodnoty jsou poklesy výkonu celé sestavy.



Obrázek 22 – Znázornění zastiňování panelu a) nezastíněný panel b) zastíněný jeden článek c) zastíněná řada d) zastíněné dva sloupce e) zastíněný celý panel

Hodnoty se odečítaly před zakrytím a po té po zakrytí části, nebo jednoho panelu na měřených instalacích. Názorně, jak se postupně docházelo k zakrývání panelu, je znázorněno na předchozím obrázku. Následně pro přesnější výslednou hodnotu, byla odečtená hodnota výkonu po 15 minutách zakrytí a poté znovu po odkrytí, aby se eliminoval vliv rostoucího výkonu během měření z důvodu zvětšující intenzity dopadajícího slunečního záření. Poté z těchto hodnot byly určeny procentuální poklesy výkonu na začátku a na konci měření. Z těchto hodnot poté byl spočítán průměr, hodnoty jsou uvedeny v posledním sloupci následujících dvou tabulek.

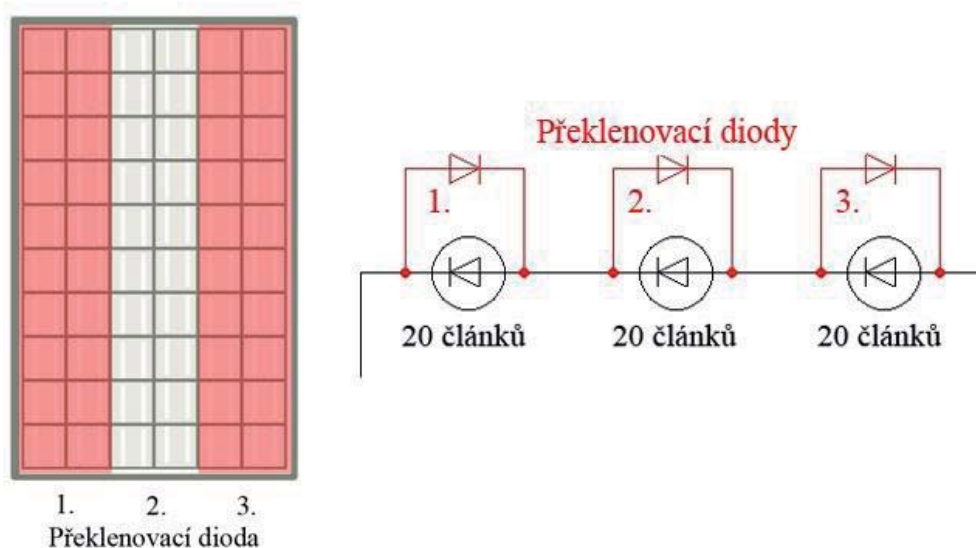
zastíněná část/ čas odečtu	na začátku [W]	na konci [W]	začátek měření			konec měření			prům. pokles [%]
			Rozdíl mezi nezast. a zast. [W]	1% výkonu	pokles proti plnému výkonu [%]	Rozdíl mezi nezast. a zast. [W]	1% výkonu	pokles proti plnému výkonu [%]	
bez zastínění	1675								
1 článek	1633	1724	42	16,75	2,51	56	17,80	3,15	2,83
bez zastínění	1780								
1 řádek	1633	1698	147	17,80	8,26	175	18,73	9,34	8,80
bez zastínění	1873								
2 sloupce(1/3 mimo provoz)	1820	1896	53	18,73	2,83	59	19,55	3,02	2,92
bez zastínění	1955								
celý panel	1765	1832	190	19,55	9,72	189	20,21	9,35	9,54
bez zastínění	2021								

Tabulka 14 - Naměřené a vypočtené hodnoty vlivu zastínění (instalace E3)

Z předchozí tabulky jsou patrné výsledky měření, k nejmenšímu poklesu došlo při zakrytí jednoho článku a skoro shodný výsledek i při zakrytí 2 sloupců, 2,83 resp. 2,92%. Tento shodný výsledek je způsoben zapojením fotovoltaických článků v panelu. Panel obsahuje 6

sloupců, v každém sloupci je u tohoto typu panelů 10 článků, tedy celý panel má 60 článků. Každé dva sloupce, 20 článků, obsahují jednu překlenovací diodu. Názorně je to zobrazeno na následujícím obrázku. V levé části obrázku jsou vyznačené sloupce článků, které jsou spojeny sériově a ty jsou překlenuty diodou. V pravé části je schematicky naznačeno toto zapojení. Z výsledků a zapojení panelu je tedy patrné, že zakrytí jednoho článku ovlivní celé dva sloupce, které jsou společně spojeny na jednu překlenovací diodu. Ze stejného důvodu, jsou skoro podobné výsledky při zastínění jednoho řádku 8,80%, s výsledky zastínění celého panelu 9,54%. Z tohoto plyne závěr, že jediný zastíněný článek, vyřadí mimo provoz třetinu fotovoltaického panelu. Zastínění celé jedné řady vyřadí mimo provoz celý panel.

Z těchto poznatků je patrné, že pro instalaci panelů v jednotlivých řadách je výhodnější volit jejich otočení naležato (na šířku), při zastínění spodních řad při ranních a večerních hodinách dojde k vyřazení pouze třetiny panelů, dvě třetiny panelu jsou i přesto funkční díky již zmíněnému zapojení. Kdyby byly dány nastojato (na výšku) tak při zastínění ve spodních řadách dojde k vyřazení celého panelu mimo provoz a tedy větší energetické ztrátě. Proto je energeticky a ekonomicky výhodné volit panel v instalaci na šířku.



Obrázek 23 - Schéma zapojení panelu

V následující tabulce, jsou naměřené hodnoty pro instalaci B, který byla popsána na začátku této kapitoly. Opět jsou výsledky podobné, jako u předchozího měření. Pouze výsledek na konci měření pro zastíněné dva sloupce, byla ovlivněná mírnou oblačností, z teoretického hlediska měla hodnota tohoto zastínění být podobná jako u zakrytí jednoho

článku, tedy okolo 4,60%. Hodnoty na této instalaci B jsou oproti předchozí menší, řádově o 2%, je to způsobeno tím, že se jedná o větší instalaci nežli instalace E3.

zastíněná část/ čas odečtu	na začátku[W]	na konci [W]	začátek měření			konec měření			prům. pokles [%]
			Rozdíl mezi nezast. a zast. [W]	1% výkonu	pokles proti plnému výkonu [%]	Rozdíl mezi nezast. a zast. [W]	1% výkonu	pokles proti plnému výkonu [%]	
bez zastínění	11186								
1 článek	10813	10062	373	111,86	3,33	626	106,88	5,86	4,60
bez zastínění	10688								
1 řádek	10039	9738	649	106,88	6,07	671	104,09	6,45	6,26
bez zastínění	10409								
2 sloupce(1/3 mimo provoz)	10277	10040	132	104,09	1,27	6	100,46	0,06	0,66
bez zastínění	10046								
celý panel	9286	9274	760	100,46	7,57	988	102,62	9,63	8,60
bez zastínění	10262								

Tabulka 15 - Naměřené a vypočtené hodnoty vlivu zastínění (instalace B)

10 Modelování podmínek zastínění FVE

10.1 Model výpočtu rozestupu řad

Byl vytvořen model v programu Microsoft Excel, pro výpočet rozestupu řad mezi fotovoltaickými panely. Vstupními daty jsou, velikost panelu (A), sklon instalace (α) a sklon slunečních paprsků (β), pro které nebudou panely zastíněny. Z těchto vstupních dat, je spočítána výška instalace B následujícím vzorcem:

$$B = \sin \alpha \cdot A \quad (1)$$

Dále půdorysná šířka řady, C:

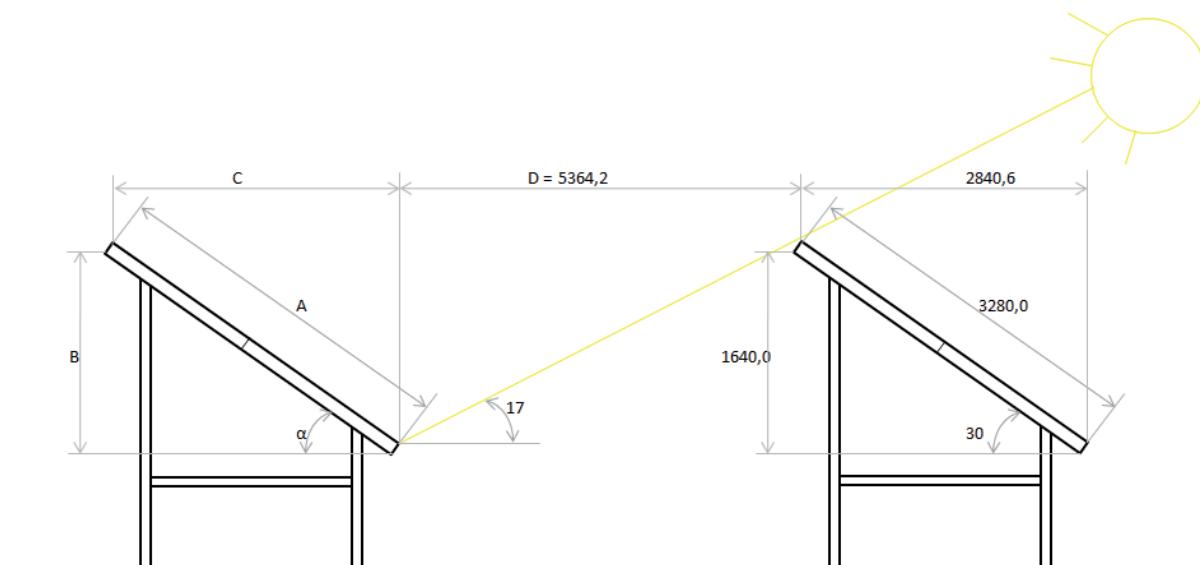
$$C = \cos \alpha \cdot A \quad (2)$$

Nakonec vzdálenost řad pro zadaný úhel sklonu paprsků:

$$D = \operatorname{tg} (180 - 90 - \beta) \cdot B \quad (3)$$

Kde $180-90-\beta$ je dopočet potřebného úhlu, dle pravidla, že součet všech úhlu u trojúhelníku je roven 180° .

Tyto výpočty byly také přeneseny do názorného nákresu, který je součástí tohoto modelu. A také je na následujícím obrázku. Příklad je volen pro velikost panelu 3280 mm, sklon paprsků 17° a sklon panelů 30° .



Obrázek 24 – Výsledný grafický model

10.2 Model pro výpočet zastínění

Druhý model byl vytvořen také v programu Microsoft Excel, ale tentokrát výpočet zastínění a výsledných ztrát vlivem tohoto zastínění. Na začátku vytvoření modelu, byl výpočet pohybu slunce nad obzorem pro zeměpisnou šířku a délku, odpovídající městu Brnu. Výpočet proběhl pomocí algoritmu DIN 1985 [21], který je popisován následovně:

Výpočet denního úhlu:

$$v' = 360^\circ \cdot \frac{\text{den v roce}}{\text{počet dnů v roce}} \quad (4)$$

Dále lze spočítat solární deklinaci:

$$\delta(v') = [0,3948 - 23,2559 \cdot \cos(v' + 9,1^\circ) - 0,3915 \cdot \cos(2 \cdot v' + 5,4^\circ) - 0,1764 \cdot \cos(3 \cdot v' + 26,0^\circ)] \quad (5)$$

Následuje rovnice času:

$$eqt(v') = [0,0066 + 7,3525 \cdot \cos(v' + 85,9^\circ) + 9,9359 \cdot \cos(2 \cdot v' + 108,9^\circ) + 0,3387 \cdot \cos(3 \cdot v' + 105,2^\circ)] \quad (6)$$

Spočteme lokální čas, pro který provádíme výpočet:

$$MLT = \text{lokalni čas} - \text{časové pásmo} + \frac{4\lambda}{60} \quad (7)$$

Kde lokální čas, je čas na nultém poledníku v Greenwichi (GMT=0), časové pásmo je tedy centrální evropský čas (CET=1h) a λ zeměpisná délka (16,60°)

Dále lze spočítat solární čas:

$$\text{Solární čas} = MLT + \frac{eqt}{60} \quad (8)$$

Pro poslední výpočet je třeba znát hodinový úhel:

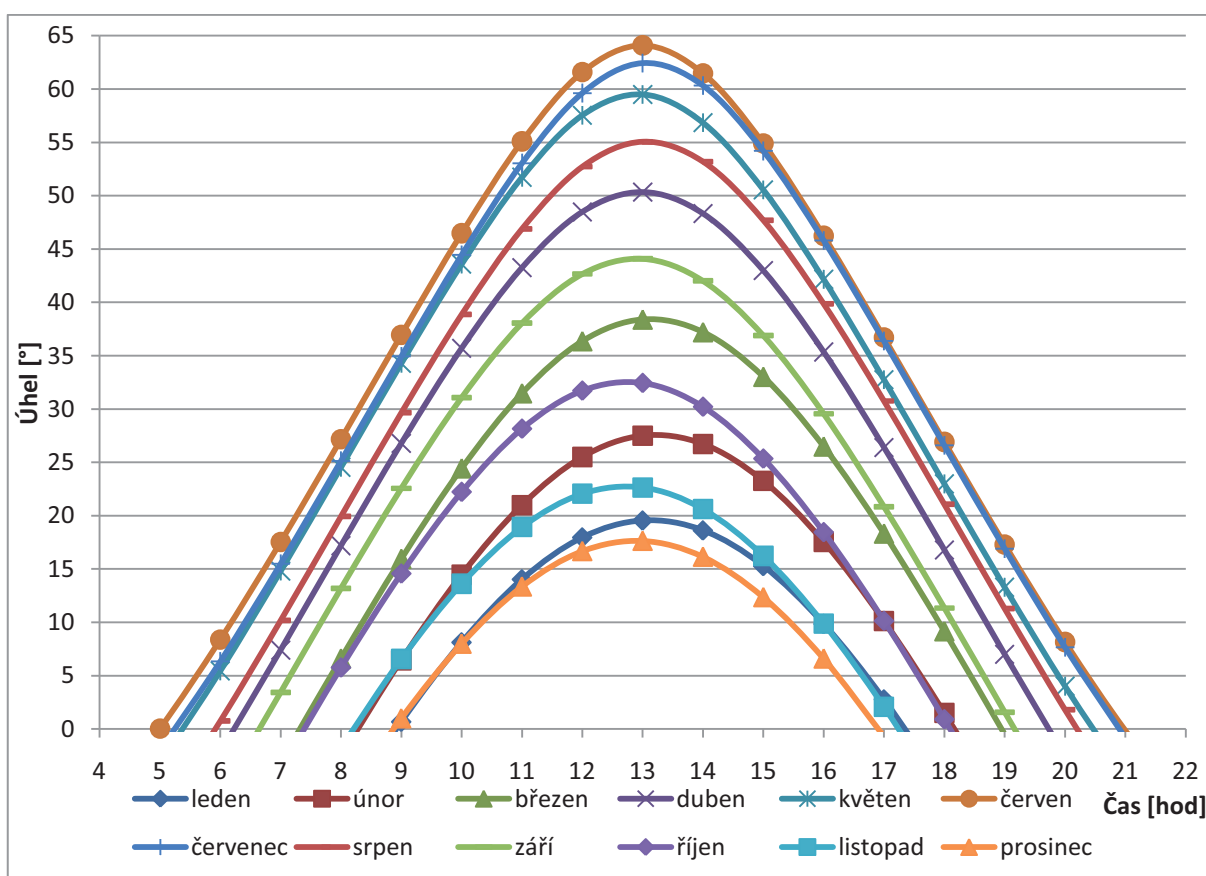
$$\varpi = (12 - \text{solární čas}) \cdot 15^\circ \quad (9)$$

A konečně poslední výpočet, úhel Slunce nad obzorem:

$$\gamma_s = \arcsin(\cos\varpi \cdot \cos\varphi \cdot \cos\delta + \sin\varphi \cdot \sin\delta) \quad (10)$$

Kde φ je zeměpisná šířka (49,19°).

Tímto postupem byl proveden výpočet pohybu slunce během dne, po celý rok, jako průměrná hodnota se bral 15tý den v měsíci, což je patrné z následujícího grafu.



Obrázek 25 - Vypočtené hodnoty pohybu Slunce v grafu

Z předchozího grafu byla odečtena doba zastínění pro různé úhly zastínění panelů, resp. v rozmezí úhlů 12 až 20° a vynásoben počtem dní v konkrétním měsíci, dále je spočítán

součet za celý rok. Přehled hodin zastínění v jednotlivých měsících a za celý rok je uveden v následující tabulce.

Úhel [°]	Leden [hod]	Únor [hod]	Březen [hod]	Duben [hod]	Květen [hod]	Červen [hod]	Červe- nec [hod]	Srpen [hod]	Září [hod]	Říjen [hod]	Listopad [hod]	Prosinec [hod]	Rok [hod]
13	120,9	89,6	83,7	78,0	77,5	90,0	93,0	93,0	81,0	96,1	108,0	127,1	1137,9
14	127,1	98,0	93,0	87,0	83,7	96,0	96,1	93,0	87,0	102,3	120,0	139,5	1222,7
15	142,6	103,6	102,3	99,0	89,9	102,0	106,9	96,1	93,0	108,5	126,0	155,0	1325,0
16	164,3	109,2	108,5	105,0	108,5	108,0	110,0	103,9	99,0	117,8	145,5,0	186,0	1465,7
17	182,9	116,2	117,8	111,0	111,6	120,0	111,6	108,5	105,0	124,0	165,0	238,7	1612,3
18	186,0	123,2	124,0	112,5	120,9	123,0	124,0	117,8	111,0	130,2	177,0	241,8	1691,4
19	254,2	148,4	127,1	117,0	128,65	129,0	128,6	124,0	120,0	142,6	186,0	241,8	1847,4
20	254,2	154,0	136,4	126,0	133,3	135,0	136,4	131,8	123,0	148,8	210,0	241,8	1930,7

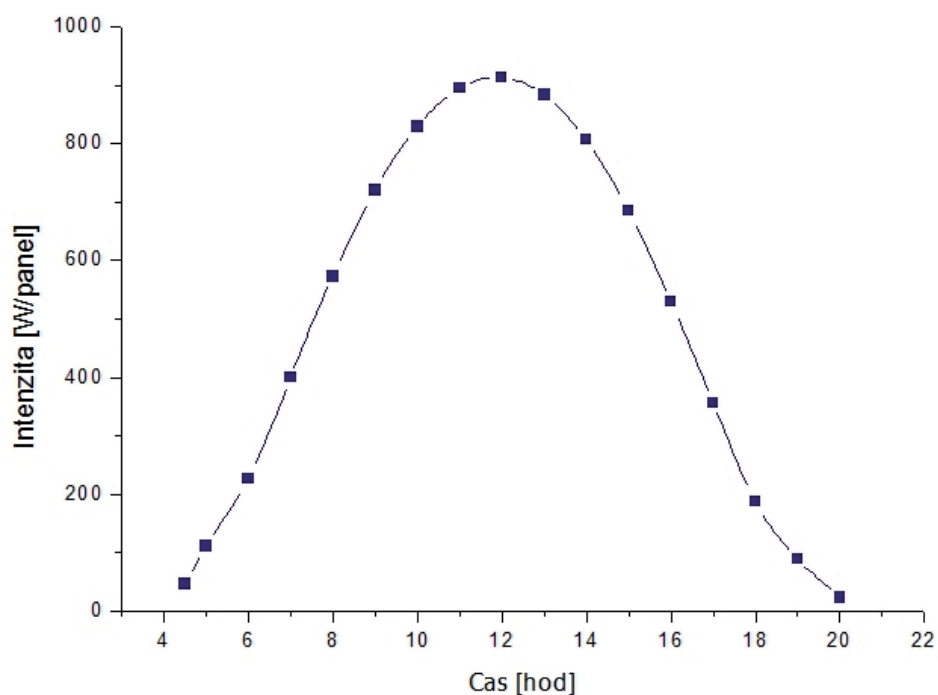
Tabulka 16 - Počet hodin zastínění

Dále byly z databáze PVGIS [20] získány pro každý měsíc průměrné hodnoty intenzity dopadajícího záření na m² během dne. Tyto hodnoty byly přepočteny na plochu jednoho panelu (pro přepočet byla použita velikost panelu od výrobce Solon, tedy plocha 1,64 m²), výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

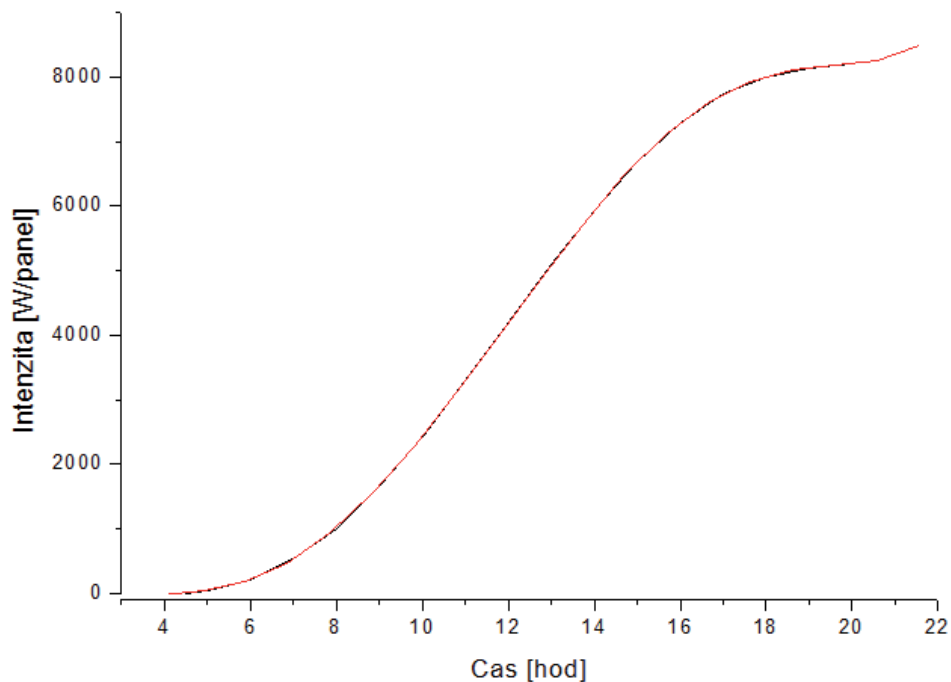
Čas [hod]	Leden [Wh]	Únor [Wh]	Březen [Wh]	Duben [Wh]	Květen [Wh]	Červen [Wh]	Červe- nec [Wh]	Srpen [Wh]	Září [Wh]	Říjen [Wh]	Listopad [Wh]	Prosinec [Wh]
4,5	-	-	-	-	-	45,92	52,48	-	-	-	-	-
5	-	-	-	59,04	82	111,52	96,76	59,04	-	-	-	-
6	-	-	78,72	121,36	200,08	226,32	216,48	150,88	49,2	-	-	-
7	-	68,88	162,36	301,76	387,04	400,16	410	341,12	211,56	83,64	-	-
8	68,88	185,32	337,84	490,36	577,28	572,36	606,8	546,12	400,16	273,88	91,84	86,92
9	188,6	329,64	495,28	652,72	741,28	719,96	777,36	726,52	574	452,64	203,36	131,2
10	277,16	441,16	613,36	775,72	862,64	829,84	905,28	862,64	705,2	592,04	287	198,44
11	331,28	505,12	683,88	847,88	934,8	895,44	982,36	946,28	783,92	675,68	336,2	237,8
12	346,04	524,8	703,56	867,56	954,48	913,48	1003,68	967,6	806,88	698,64	349,32	247,64
13	321,44	493,64	670,76	834,76	921,68	883,96	967,6	929,88	769,16	659,28	328	229,6
14	257,48	416,56	587,12	749,48	836,4	806,88	877,4	834,76	677,32	562,52	268,96	183,68
15	160,72	296,84	459,2	616,64	703,56	685,52	738	685,52	533	411,64	178,76	111,52
16	24,6	147,6	295,2	444,44	531,36	529,72	559,24	495,28	354,24	226,32	37,72	26,24
17	-	26,24	121,36	252,56	339,48	355,88	360,8	290,28	165,64	32,8	24,6	-
18	-	-	39,36	83,64	157,44	186,96	173,84	111,52	22,96	-	-	-
19	-	-	-	36,08	59,04	88,56	75,44	36,08	-	-	-	-
20	-	-	-	-	34,44	22,96	29,52	-	-	-	-	-

Tabulka 17 - Intenzita dopadajícího záření na plochu jednoho panel (1,64m²)

Z těchto dat byl vytvořen pro každý měsíc graf závislosti intenzity na čase. Příklad tohoto grafu je na následujícím obrázku. Z tohoto grafu byla následně vytvořena integrální funkce, která je na obrázku 27.



Obrázek 26 - Graf závislosti intenzity záření na čase pro červen



Obrázek 27 - Integrální funkce závislosti intenzity na čase pro červen

Předchozí graf, byl proložen polynomem sedmého stupně, výsledkem je funkce v následujícím formátu, která je použita pro další výpočty ztrát, vlivem stíněním.

$$Y = -3163,83681 + 2549,39016 * X - 810,51817 * X^2 + 125,25365 * X^3 - 9,87772 * X^4 + 0,45266 * X^5 - 0,01204 * X^6 + 0,000144406 * X^7 \quad (11)$$

Kde Y je hodnota „ztracené“ intenzity do času, který se dosazuje za X, tedy X je čas ukončení zastínění panelů. Uvedené koeficienty v rovnici jsou pro měsíc červen. V následující tabulce (tabulka 18) jsou uvedeny hodnoty ztráty při zastínění panelu od úhlu 17 stupňů, jedná se o hodnoty vztažené na jeden panel. V prvním řádku je uveden čas, do kterého je panel zastíněn, ve druhém řádku tabulky je pomocí rovnice spočítána ztráta pro dané období (pro červen od východu slunce do 7 hodin). Ve třetím řádku je uveden čas západu Slunce, v následujícím řádku je spočítána stejnou rovnicí ztráta do západu Slunce, tedy po celý den. Následující dva řádky je čas začátku zastínění v odpoledních hodinách (19 hodin a 15 minut) a ztráta do tohoto času. Poté je v předposledním řádku uveden rozdíl těchto dvou posledních ztrát, aby byla spočítána ztráta od začátku zastínění po západ Slunce. Nakonec v posledním řádku je uveden součet ranního a večerního zastínění a vynásoben počtem dní v měsíci.

Výsledkem je součet celoroční ztráty na jeden panel a přepočet na účinnost panelu, jako příklad byla zvolena účinnost 13,40%, dle panelu Solon Blue 220Wp [14].

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Doba ukončení zastínění	11,9	10,4	9,2	8,0	7,3	7,0	7,2	7,7	8,4	9,3	10,8	12,6
Ztráta [Wh]	987,8	916,0	804,0	630,5	537,9	522,4	594,6	587,9	611,5	686,0	664,3	916,7
Západ Slunce	17,2	18,1	19,0	19,8	20,5	20,9	21,0	20,3	19,2	18,1	17,3	16,9
Ztráta [Wh]	2142,3	3540,4	5274,6	7104,6	8265,6	8040,6	9128,5	8186,3	6192,5	4671,5	3256,6	2088,3
Začátek zastín. odpoledne	14,4	16,0	17,2	18,0	18,7	19,2	19,0	18,4	17,4	16,2	14,8	13,3
Ztráta [Wh]	1785,3	3344,0	5152,4	7013,1	8138,3	8001,7	8794,9	7927,7	6061,2	4579,4	2280,3	1119,4
Rozdíl ztráty [Wh]	357,0	196,4	122,2	91,5	127,3	38,8	333,6	258,6	131,3	92,1	976,3	968,9
Celková ztráta [kWh]	41,69	31,15	28,71	21,66	20,62	16,84	28,77	26,24	22,28	24,12	49,22	58,45
Celoroční ztráta na jeden panel [kWh]												369,76
Pro účinnost panelu dle typu Solon Blue 230/07 220 Wp 13,41%, výsledná ztráta [kWh]												49,58
Výsledná ztráta pro panel instalovaný na šířku [kWh]												40,79

Tabulka 18 – Přehled a výpočet ztrát při zastínění

Jedná se o celkovou ztrátu v případě, že FV panel negeneruje energii. Tato situace při nainstalování na výšku nastává prakticky již při zastínění spodní řady, což ukazuje praktické

měření uvedené v kapitole 9, této práce. V případě instalace panelů na šířku, došlo by k menší ztrátě, díky nefunkčnosti napřed dvou třetin panelu od úhlu 12° dopadajících slunečních paprsků, poté od úhlu 14° jen jedné třetiny panelu, po dosažení úhlu 17° již pro náš případ panel není zastíněn. Toto je patrné z vnitřního zapojení panelů. Byl proveden výpočet dopadající intenzity pro tyto rozhodující úhly, intenzita dopadající do úhlu 12° je 29,0 kWh, do úhlu 14° je intenzita 34,9 kWh. Z toho vyplývá, že 29,0 kWh je ztráta při nefunkčnosti celého panelu. Rozdíl intenzity mezi 12° a 14° je intenzita, kterou pohltí 1/3 panelu, plocha 0,543 m², tedy 34,9 – 29,0 = 5,9 kWh tato hodnota je vynásobena ještě 1/3 z důvodu, že je funkční pouze třetina panelu, dostáváme tedy hodnotu po zaokrouhlení 2,0 kWh. Obdobným způsobem spočítáme intenzitu pro nefunkční 1/3 panelu resp. funkční 2/3 panelu, tedy plocha 1,087 m². Intenzitu pro úhel 14° odečteme od intenzity pro 17°, tedy $(49,6 - 34,9) \cdot \frac{2}{3} = 26,3 \text{ kWh}$. Po sečtení těchto dílčích výsledků dostáváme výslednou „ztracenou“ intenzitu pro jeden panel za jeden rok umístěný na šířku, 40,8 kWh. Jedná se, jak je patrné z předchozí tabulky, o rozdíl 17,7 % oproti panelu instalovaného na výšku. Také to dokazuje teoretický poznatek z kapitoly 9. V následující tabulce jsou uvedeny vypočtené ztráty pro jednotlivé úhly dopadajícího slunečního záření.

Úhel [°]	Čas zastínění [hod]	Ztráta [kWh]
12	1075,7	29,1
13	1137,9	32,4
14	1222,7	34,9
15	1325,0	39,7
16	1465,7	43,8
17	1612,3	49,6
18	1691,4	54,1
19	1847,4	58,2
20	1930,7	64,0

Tabulka 19 – Přehled ztráty pro různé úhly, hodnoty jsou za celý rok na jeden panel

Jak je očekáváno, tak s rostoucím úhlem, kdy je panel zastíněn, roste jak výkonová ztráta, tak i délka zastínění panelů.

11 Závěr

Tato diplomová práce se věnuje problematice a principu fotovoltaických panelů v podmínkách České republiky, vlivu reálných podmínek, pro běžně dostupné a používané

technologie. Dále jsou popsány a porovnány různé fotovoltaické panely a střídače od různých výrobců. Práce rozebírá situaci fotovoltaiky v naší zemi, tedy v České republice. Uvádí naměřená data za druhé pololetí roku 2009 na různých instalacích, které se nachází v inkubátoru Hády. Také práce uvádí podrobněji z tohoto druhého pololetí naměřená data z července a listopadu. Data za rok 2010, nejsou bohužel dostupné díky různým výpadkům v systému a úpravám na jednotlivých instalacích (přestavba areálu). Navíc, bylo provedeno porovnání těchto naměřených hodnot s teoretickými hodnotami získaných v databázi PVGIS. Srovnáním bylo zjištěno, že teoretické hodnoty z této databáze jsou v letních měsících nižší řádově o 5% a v zimních naopak vyšší než reálně naměřená data, řádově o 4%. Má to vliv na modelování příjmů a následné splátky bankám a dále na odhad výroby el. energie pro distributory, kteří musí v dnešní době již počítat s energií dodanou do sítě z FVE.

Práce dále pojednává o různých lokalitách v České republice a o vlivu geografických podmínek na výtěžnost takových instalací.

Následně bylo provedeno měření vlivu zastínění na dvě instalace nacházejících se v inkubátoru Hády, výsledkem měření je, že vlivem vnitřního zapojení fotovoltaických panelů je pro výkonnost lepší instalovat panely v řadách na šířku, nedochází k takovému poklesu při zastínění spodní části panelů. Také byly vytvořeny dva matematické modely v programu MS Excel, kde byl vytvořen model výpočtu rozestupu řad, byl sestaven i grafický model pro lepší představu. Do tohoto grafického modelu se přenášejí vypočtené hodnoty. Druhým vytvořeným modelem je pro výpočet zastínění, pomocí algoritmu DIN 1985 byly vytvořeny grafy pohybu Slunce během dne nad obzorem, z tohoto grafu byl odečten počet hodin zastínění pro různé úhly dopadu Slunce. Dále byla spočítána ztráta energie, z důvodu zastínění pro různé úhly dopadajícího slunečního záření a byl vytvořen výpočtový model v MS Excel.

Oba tyto vytvořené modely jsou dílčími výsledky pro výpočet zastínění a následných ztrát způsobených zastíněním, které se odvíjí od fyzického uspořádání elektrárny. Následuje výpočet ztráty a tržby majitele FVE, dle požadavků firmy Energ Servis a.s.. Vytvořené modely berou v úvahu reálně naměřená data a také udává porovnání (korekci) s celosvětově uznávanou databází PVGIS, což je přínos jak pro majitele fotovoltaické elektrárny, tak i pro distributora.

Návrh na další pokračování vytvořených modelů by bylo doplnění měření, vlivu různého zastínění na výkonnost panelů, tak aby tyto ztráty počítal přesněji a nedocházelo k takovému zaokrouhlení výpočtů, ale dopočítával data dle naměřených, reálných, hodnot.

12 Použitá literatura

- [1] ENERG SERVIS, [online]. 2011 - [cit. 5. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.energyservis.cz>
- [2] Czech RE Agency, [online]. 2011 - [cit. 5. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.czrea.org/cs/druhy-ozc/fotovoltaika#fv>
- [3] Energetický regulační úřad, [online]. 2011 - [cit. 5. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://eru.cz/>
- [4] Solaren s.r.o., [online]. 2009 - [cit. 9. listopadu 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.solarni-systemy.eu/solaren/sortiment.asp>
- [5] Solární elektrárny, [online]. 2009 - [cit. 9. listopadu 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.solarni.info/solarnipanely>
- [6] Wikipedie, [online]. 2009 - [cit. 9. listopadu 2009]. Dostupné na WWW: <http://cs.wikipedia.org>
- [7] KŘIVÍK, P., VANĚK, J. Obnovitelné zdroje energie. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [8] SOLARENVI, [online]. 2009 - [cit. 9. listopadu 2009]. Dostupné na WWW: <http://solarenavi.cz>
- [9] HOFMAN, J., Semestrální projekt. Brno: FEKT VUT v Brně, 2008.
- [10] SOLARMAX, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.solarmax.com>
- [11] DANFOSS, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.danfoss.com/BusinessAreas/Solar+Energy/Solar+default.htm>
- [12] CANADIAN SOLAR, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.canadian-solar.com>
- [13] SOLPOWER, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.solpowerag.com/>

[14] SOLON, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.solon.com/global/>

[15] PHONOSOLAR, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://phonosolar.com/>

[16] NEXPOWER, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.nexpw.com/>

[17] YOHKON, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.yohkon.com/>

[18] REFUSOL, [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.refusol.de>

[19] DELTA ENERGY SYSTEMS , [online]. 2011 - [cit. 15. dubna 2011]. Dostupné na WWW:] <http://www.solar-inverter.com/>

[20] PVGIS, JRC EUROPEAN COMMISSION, [online]. 2011 - [cit. 28. března 2011]. Dostupné na WWW:] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>

[21] QUASCHNING, W., Understanding renewable energy systems. Earthscan., 2005.

[22] ERU, ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, [online]. 2011 - [cit. 16. dubna 2011]. Dostupné na WWW:] <http://www.eru.cz>

13 Přílohy

13.1 Hodnoty 7/2009

Červenec Datum	E1 - Solon 295Wp [kWh/k Wp]	E2 - Nexpow er 95W [kWh/k Wp]	E3 - Solon Blue 220 [kWh/k Wp]	E4 - Phono Solar 220 [kWh/k Wp]	E5 - Yohkon 220 [kWh/k Wp]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh/k Wp]	E7 - Yohkon 220 [kWh/k Wp]	Součet na den [kWh/kWp]
1	4,72	4,47	4,81	4,36	4,65	5,94	5,03	4,95
2	4,40	4,27	4,50	4,10	4,38	5,52	4,61	4,59
3	2,67	2,52	2,71	2,38	2,54	3,50	3,03	2,87
4	5,44	5,32	5,65	5,11	5,49	7,52	5,77	5,81
5	5,12	5,40	5,29	4,75	5,60	6,48	5,44	5,46
6	4,20	4,90	4,28	3,91	4,18	5,49	4,52	4,50
7	4,93	4,72	5,60	4,62	4,83	5,49	4,99	5,04
8	5,00	4,92	5,27	4,90	5,40	6,48	5,44	5,41
9	4,65	4,35	4,81	4,36	4,59	6,00	5,05	4,95
10	3,85	3,75	4,11	3,69	3,87	5,10	4,39	4,23
11	3,26	2,99	3,33	3,30	3,21	4,12	3,68	3,53
12	4,90	4,61	5,10	4,54	4,86	6,70	5,27	5,23
13	5,76	5,52	5,99	5,38	5,77	8,76	6,10	6,23
14	6,30	5,99	6,45	5,75	6,13	8,59	6,51	6,59
15	4,74	4,53	4,84	4,38	4,66	6,13	4,95	4,95
16	4,30	5,72	6,10	5,42	5,82	8,77	6,14	6,13
17	6,37	6,80	6,54	5,79	6,25	9,80	6,53	6,82
18	0,70	0,63	0,74	0,62	0,67	0,98	0,96	0,83
19	4,98	4,77	5,24	4,74	4,98	6,32	5,31	5,27
20	4,35	4,80	4,48	4,13	4,33	5,80	4,73	4,70
21	4,93	4,64	5,20	4,49	4,78	6,32	5,12	5,13
22	6,40	5,70	6,20	5,56	5,92	7,98	6,17	6,30
23	6,80	5,76	6,24	5,61	5,92	7,89	6,20	6,36
24	4,73	4,74	5,11	4,70	5,50	6,56	5,15	5,24
25	4,89	4,67	5,18	4,71	4,98	6,46	5,27	5,24
26	5,36	5,71	6,45	5,83	6,22	8,90	6,37	6,47
27	6,55	6,10	6,75	6,00	6,40	9,22	6,69	6,86
28	3,73	3,38	3,84	3,46	3,66	5,90	4,14	4,12
29	0,04	0,00	0,09	0,03	0,03	0,29	6,18	2,62
30	6,20	5,57	6,19	5,59	6,10	8,31	6,11	6,31
31	4,92	4,53	5,70	4,60	4,87	5,66	5,05	5,09
suma [kwh/kwp]	145,19	141,78	152,79	136,81	146,59	196,98	160,90	5,09

Tabulka 20 - Přepočet el. energie 7/2009 na 1 kWp

Červenec	E1 - Solon 295Wp [kWh]	E2 - Nexpower 95W [kWh]	E3 - Solon Blue 220 [kWh]	E4 - Phono Solar 220 [kWh]	E5 - Yohkon 220 [kWh]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh]	E7 - Yohkon 220 [kWh]	Součet na den [kWh]
Nominální výkon [kWp]	2,95	1,52	2,76	2,64	2,64	3,24	11,22	26,97
1	13,92	6,79	13,28	11,51	12,28	19,25	56,40	133,43
2	12,98	6,49	12,42	10,82	11,56	17,88	51,70	123,86
3	7,88	3,83	7,48	6,28	6,71	11,34	34,00	77,52
4	16,05	8,09	15,59	13,49	14,49	24,36	64,70	156,78
5	15,10	8,21	14,60	12,54	14,78	21,00	61,00	147,23
6	12,39	7,45	11,81	10,32	11,04	17,79	50,70	121,50
7	14,54	7,17	15,46	12,20	12,75	17,79	56,00	135,91
8	14,75	7,48	14,55	12,94	14,26	21,00	61,00	145,96
9	13,72	6,61	13,28	11,51	12,12	19,44	56,70	133,37
10	11,36	5,70	11,34	9,74	10,22	16,52	49,30	114,18
11	9,62	4,54	9,19	8,71	8,47	13,35	41,30	95,19
12	14,46	7,01	14,08	11,99	12,83	21,71	59,10	141,16
13	16,99	8,39	16,53	14,20	15,23	28,38	68,40	168,13
14	18,59	9,10	17,80	15,18	16,18	27,83	73,00	177,69
15	13,98	6,89	13,36	11,56	12,30	19,86	55,50	133,45
16	12,69	8,69	16,84	14,31	15,36	28,41	68,90	165,20
17	18,79	10,34	18,05	15,29	16,50	31,75	73,30	184,02
18	2,07	0,96	2,04	1,64	1,77	3,18	10,80	22,45
19	14,69	7,25	14,46	12,51	13,15	20,48	59,60	142,14
20	12,83	7,30	12,36	10,90	11,43	18,79	53,10	126,72
21	14,54	7,05	14,35	11,85	12,62	20,48	57,50	138,40
22	18,88	8,66	17,11	14,68	15,63	25,86	69,20	170,02
23	20,06	8,76	17,22	14,81	15,63	25,57	69,60	171,65
24	13,95	7,20	14,10	12,41	14,52	21,25	57,80	141,24
25	14,43	7,10	14,30	12,43	13,15	20,93	59,10	141,43
26	15,81	8,68	17,80	15,39	16,42	28,84	71,50	174,44
27	19,32	9,27	18,63	15,84	16,90	29,87	75,10	184,93
28	11,00	5,14	10,60	9,13	9,66	19,12	46,40	111,05
29	0,12	0,00	0,25	0,08	0,08	0,94	69,30	70,76
30	18,29	8,47	17,08	14,76	16,10	26,92	68,60	170,23
31	14,51	6,89	15,73	12,14	12,86	18,34	56,70	137,17
suma [kwh]	428,31	215,51	421,70	361,18	387,00	638,22	1805,30	4257,21
průměr na den [kwh]	13,82	6,95	13,60	11,65	12,48	20,59	58,24	137,33

Tabulka 21 - Přehled el. energie za 7/2009

	E1 - Solon 295Wp [kWh]	E2 - Nexpower 95W [kWh]	E3 - Solon Blue 220 [kWh]	E4 - Phono Solar 220 [kWh]	E5 - Yohkon 220 [kWh]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh]	E7 - Yohkon 220 [kWh]	Součet na den [kWh]
Červenec								
Plocha [m2]	16,9	24,6	19,68	19,8	19,9	22,98	84,66	208,52
Datum								
1	0,82	0,28	0,67	0,58	0,62	0,84	0,67	4,48
2	0,77	0,26	0,63	0,55	0,58	0,78	0,61	4,18
3	0,47	0,16	0,38	0,32	0,34	0,49	0,40	2,55
4	0,95	0,33	0,79	0,68	0,73	1,06	0,76	5,30
5	0,89	0,33	0,74	0,63	0,74	0,91	0,72	4,98
6	0,73	0,30	0,60	0,52	0,55	0,77	0,60	4,08
7	0,86	0,29	0,79	0,62	0,64	0,77	0,66	4,63
8	0,87	0,30	0,74	0,65	0,72	0,91	0,72	4,92
9	0,81	0,27	0,67	0,58	0,61	0,85	0,67	4,46
10	0,67	0,23	0,58	0,49	0,51	0,72	0,58	3,79
11	0,57	0,18	0,47	0,44	0,43	0,58	0,49	3,16
12	0,86	0,28	0,72	0,61	0,64	0,94	0,70	4,75
13	1,01	0,34	0,84	0,72	0,77	1,24	0,81	5,71
14	1,10	0,37	0,90	0,77	0,81	1,21	0,86	6,03
15	0,83	0,28	0,68	0,58	0,62	0,86	0,66	4,51
16	0,75	0,35	0,86	0,72	0,77	1,24	0,81	5,50
17	1,11	0,42	0,92	0,77	0,83	1,38	0,87	6,30
18	0,12	0,04	0,10	0,08	0,09	0,14	0,13	0,70
19	0,87	0,29	0,73	0,63	0,66	0,89	0,70	4,79
20	0,76	0,30	0,63	0,55	0,57	0,82	0,63	4,25
21	0,86	0,29	0,73	0,60	0,63	0,89	0,68	4,68
22	1,12	0,35	0,87	0,74	0,79	1,13	0,82	5,81
23	1,19	0,36	0,88	0,75	0,79	1,11	0,82	5,89
24	0,83	0,29	0,72	0,63	0,73	0,92	0,68	4,80
25	0,85	0,29	0,73	0,63	0,66	0,91	0,70	4,77
26	0,94	0,35	0,90	0,78	0,83	1,25	0,84	5,89
27	1,14	0,38	0,95	0,80	0,85	1,30	0,89	6,30
28	0,65	0,21	0,54	0,46	0,49	0,83	0,55	3,73
29	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,82	0,89
30	1,08	0,34	0,87	0,75	0,81	1,17	0,81	5,83
31	0,86	0,28	0,80	0,61	0,65	0,80	0,67	4,67
suma [kwh]	25,34	8,76	21,43	18,24	19,45	27,77	21,32	142,32

Tabulka 22 - Přepočet el. energie 7/2009 na plochu

13.2 Hodnoty 11/2009

Listopad Datum	E1 - Solon 295Wp [kWh/kW p]	E2 - Nexpower 95W [kWh/kW p]	E3 - Solon Blue 220 [kWh/k Wp]	E4 - Phono Solar 220 [kWh/k Wp]	E5 - Yohkon 220 [kWh/k Wp]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh/k Wp]	E7 - Yohkon 220 [kWh/k Wp]	Součet na den [kWh/k Wp]
1	-	-	-	-	-	-	0,44	-
2	-	-	-	-	-	-	1,20	-
3	-	-	-	-	-	-	0,00	-
4	-	-	-	-	-	-	0,00	-
5	-	-	-	-	-	-	0,23	-
6	-	-	-	-	-	-	0,28	-
7	-	-	-	-	-	-	0,60	-
8	-	-	-	-	-	-	0,94	-
9	-	-	-	-	-	-	0,44	-
10	-	-	-	-	-	-	0,53	-
11	-	-	-	-	-	-	0,37	-
12	-	-	-	-	-	-	0,90	-
13	-	-	-	-	-	-	1,55	-
14	-	-	-	-	-	-	2,15	-
15	-	-	-	-	-	-	2,51	-
16	-	-	-	-	-	-	0,46	-
17	-	-	-	-	-	-	0,29	-
18	2,76	1,22	1,35	1,44	1,56	3,52	2,42	2,23
19	2,53	1,27	1,43	1,48	1,61	3,29	2,29	2,15
20	2,47	1,18	1,21	1,22	1,39	2,92	2,18	1,98
21	0,26	0,08	0,25	0,23	0,25	0,32	0,39	0,31
22	0,11	0,03	0,13	0,11	0,12	0,16	0,22	0,16
23	1,44	0,71	0,94	0,97	1,27	2,14	1,36	1,34
24	0,64	0,38	0,51	0,48	0,55	0,65	0,69	0,61
25	2,46	0,98	1,17	1,39	1,77	3,45	2,24	2,10
26	0,34	0,23	0,34	0,32	0,34	0,38	0,46	0,39
27	0,28	0,15	0,28	0,25	0,26	0,31	0,40	0,32
28	1,15	0,48	0,69	0,88	1,11	1,84	1,11	1,10
29	0,22	0,06	0,21	0,19	0,19	0,25	0,33	0,25
30	0,71	0,40	0,53	0,46	0,58	0,77	0,76	0,66
suma [kwh/kwp]	15,37	7,17	9,04	9,42	11,00	20,00	27,75	13,60

Tabulka 23 - Přepočet el. energie 11/2009 na 1 kWp

Listopad Datum	E1 - Solon 295Wp [kWh]	E2 - Nexpower 95W [kWh]	E3 - Solon Blue 220 [kWh]	E4 - Phono Solar 220 [kWh]	E5 - Yohkon 220 [kWh]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh]	E7 - Yohkon 220 [kWh]	Součet na den [kWh]
Nominální výkon [kWp]	2,95	1,52	2,76	2,64	2,64	3,24	11,22	26,97
1	-	-	-	-	-	-	4,9	-
2	-	-	-	-	-	-	13,5	-
3	-	-	-	-	-	-	0	-
4	-	-	-	-	-	-	0	-
5	-	-	-	-	-	-	2,6	-
6	-	-	-	-	-	-	3,1	-
7	-	-	-	-	-	-	6,7	-
8	-	-	-	-	-	-	10,6	-
9	-	-	-	-	-	-	4,9	-
10	-	-	-	-	-	-	5,9	-
11	-	-	-	-	-	-	4,2	-
12	-	-	-	-	-	-	10,1	-
13	-	-	-	-	-	-	17,4	-
14	-	-	-	-	-	-	24,1	-
15	-	-	-	-	-	-	28,2	-
16	-	-	-	-	-	-	5,2	-
17	-	-	-	-	-	-	3,2	-
18	8,14	1,85	3,73	3,80	4,12	11,40	27,2	60,25
19	7,46	1,93	3,95	3,91	4,25	10,66	25,7	57,86
20	7,29	1,79	3,34	3,22	3,67	9,46	24,5	53,27
21	0,77	0,12	0,69	0,61	0,66	1,04	4,4	8,28
22	0,32	0,05	0,36	0,29	0,32	0,52	2,5	4,35
23	4,26	1,08	2,59	2,56	3,35	6,93	15,3	36,08
24	1,89	0,58	1,41	1,27	1,45	2,11	7,7	16,40
25	7,26	1,49	3,23	3,67	4,67	11,18	25,1	56,60
26	1,00	0,35	0,94	0,84	0,90	1,23	5,2	10,46
27	0,83	0,23	0,77	0,66	0,69	1,00	4,5	8,68
28	3,39	0,73	1,90	2,32	2,93	5,96	12,5	29,74
29	0,65	0,09	0,58	0,50	0,50	0,81	3,7	6,83
30	2,09	0,61	1,46	1,21	1,53	2,49	8,5	17,91
suma [kWh]	45,35	10,90	24,95	24,87	29,04	64,80	311,4	511,31
průměr na den [kWh]	3,49	0,84	1,92	1,91	2,23	4,98	10,38	25,76

Tabulka 24 - Přehled el. energie za 11/2009

Listopad Datum	E1 - Solon 295Wp [kWh]	E2 - Nexpower 95W [kWh]	E3 - Solon Blue 220 [kWh]	E4 - Phono Solar 220 [kWh]	E5 - Yohkon 220 [kWh]	E6 - Yohkon 180 Tracker [kWh]	E7 - Yohkon 220 [kWh]	Součet na den [kWh]
Datum/Plocha [m2]	16,9	24,6	19,68	19,8	19,9	22,98	84,66	208,52
1	-	-	-	-	-	-	0,06	-
2	-	-	-	-	-	-	0,16	-
3	-	-	-	-	-	-	0,00	-
4	-	-	-	-	-	-	0,00	-
5	-	-	-	-	-	-	0,03	-
6	-	-	-	-	-	-	0,04	-
7	-	-	-	-	-	-	0,08	-
8	-	-	-	-	-	-	0,13	-
9	-	-	-	-	-	-	0,06	-
10	-	-	-	-	-	-	0,07	-
11	-	-	-	-	-	-	0,05	-
12	-	-	-	-	-	-	0,12	-
13	-	-	-	-	-	-	0,21	-
14	-	-	-	-	-	-	0,28	-
15	-	-	-	-	-	-	0,33	-
16	-	-	-	-	-	-	0,06	-
17	-	-	-	-	-	-	0,04	-
18	0,48	0,08	0,19	0,19	0,21	0,50	0,32	1,96
19	0,44	0,08	0,20	0,20	0,21	0,46	0,30	1,90
20	0,43	0,07	0,17	0,16	0,18	0,41	0,29	1,72
21	0,05	0,00	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05	0,25
22	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,12
23	0,25	0,04	0,13	0,13	0,17	0,30	0,18	1,21
24	0,11	0,02	0,07	0,06	0,07	0,09	0,09	0,53
25	0,43	0,06	0,16	0,19	0,23	0,49	0,30	1,86
26	0,06	0,01	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,32
27	0,05	0,01	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,26
28	0,20	0,03	0,10	0,12	0,15	0,26	0,15	1,00
29	0,04	0,00	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,20
30	0,12	0,02	0,07	0,06	0,08	0,11	0,10	0,57
suma [kwh]	2,68	0,44	1,27	1,26	1,46	2,82	3,68	13,61

Tabulka 25 – Přepočet el. energie za 11/2009 na plochu